М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин

КОРМЛЕНИЕ РЫБ В ПРЕСНОВОДНОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ

Издательство ВНИРО

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное агентство по рыболовству

Федеральное государственное унитарное предприятие
"Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии" (ВНИРО)

Ministry of Agriculture of the Russian Federation
Federal Agency for Fisheries

Federal State Unitary Enterprise
"Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography" (VNIRO)

M.A. SHCHERBINA, E.A. GAMYGIN

FISH FEEDING IN FRESHWATER AQUACULTURE

MOSCOW VNIRO PUBLISHING 2006

М.А. ЩЕРБИНА, Е.А. ГАМЫГИН

КОРМЛЕНИЕ РЫБ В ПРЕСНОВОДНОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ

МОСКВА ИЗДАТЕЛЬСТВО ВНИРО 2006

УДК 639.31:639.3.043.2:639.3/.6

Рецензенты:
д-р биол. наук *Е.В. Микодина*, д-р с-х. наук *В.Я. Скляров*

Главы 1–3, 6 и раздел 7.1 написаны *М.А. Щербиной*,
главы 4, 5 – *М.А. Щербиной* и *Е.А. Гамыгиным*,
раздел 7.2 – *Е.А. Гамыгиным*

М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин
Щ 66 Кормление рыб в пресноводной аквакультуре.– М.: Изд-во ВНИРО, 2006.– 360 с.

Дается анализ современных сведений о роли питательных веществ в жизнедеятельности рыб и потребности в них для обеспечения нормального роста. Рассматриваются строение и работа пищеварительного тракта рыб, его способность переваривать питательные вещества комбикормов и естественной пищи.

Дана оценка питательных и специфических свойств более 50 видов продуктов, являющихся основными и нетрадиционными компонентами комбикормов. При оценке сырья, помимо общепринятых показателей химического состава, использован более широкий спектр характеристик, в частности переваримость питательных веществ и доступность аминокислот.

Детально охарактеризованы применяемые технологии изготовления кормов и их воздействие на питательные свойства различных видов сырья, а также особенности кормления основных объектов пресноводной аквакультуры. Даны рецептуры.

Предназначена для научных сотрудников, практиков рыбоводства и кормопроизводства, преподавателей, студентов университетов и профильных учебных заведений, может быть использована в качестве учебного пособия.

M.A. Shcherbina, E.A. Gamygin
Fish feeding in freshwater aquaculture.– M.: VNIRO Publishing, 2006.– 360 p.

It analysis the up-to-date information about the role of nutrients in fish living activity and their requirements for normal fish growth. The question of fish intestine structure and function are being considered. A particular attention has been given to the quantitative characteristics of fish ability for digestion of nutrients from mixed feeds and natural food.

The nutritive and specific properties of more than 50 kinds of products as main and uncommon mixed feeds' components are materials, besides common chemical composition indices the wider range of characteristics has been used, in particular, the digestibility of nutrients and availability of amino acids.

In the paper the information is being summarized in tables to be used in practice of diets formulating. The ways of mixed feeds formulating and balancing and their estimation methods are being viewed. The applied technologies of feeds production and their effect on nutritive properties of different kinds of row materials have been characterized in details. Feeding peculiarities of main fish species in freshwater aquaculture are being described.

The monograph is addressed to scientific workers, practical fish farmers and food producers, teacher, students of Universities and appropriate educational institutions, it can be used as a manual as well.

© M.A. Shcherbina, E.A. Gamygin, 2006
© VNIRO Publishing, 2006
© М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин, 2006
© Издательство ВНИРО, 2006

ISBN 5-85382-237-3

Памяти учителей А.К. Щербины и Г.С. Карзинкина посвящается

Введение

Мировая аквакультура относится к наиболее динамично развивающимся направлениям производства продовольствия. Все формы рыбоводства (прудовое, садковое, и бассейновое) в совокупности дают около трети потребляемой продукции гидробионтов [Brug, Ridler; 2004]. Семьдесят процентов пресноводной аквакультуры приходится на долю китайских и индийских карповых рыб, выращиваемых в экстенсивных условиях. Вклад России в мировую аквакультуру несопоставимо меньше, несмотря на ее богатство пресноводными водоемами, более чем столетнее развитие прудового и почти полувековое – индустриального рыбоводства. Для этого есть множество причин, среди которых главными являются невостребованность научных разработок в области физиологии и биохимии питания рыб, а также недостаточное внимание к научно-техническому аспекту кормопроизводства. Как управляемая система технологических приемов воспроизводства и товарного выращивания гидробионтов аквакультура базируется на интенсивном использовании комбикормов, что присуще стойловому содержанию животных. Любая форма рыбоводства требует применения кормов; различия заключаются лишь в их количественных и качественных характеристиках. Несоответствие питательной ценности отечественных комбикормов, предлагаемых рыбоводству, потребностям рыб и просчеты в технологии их изготовления и технике кормления рыб в значительной степени снижают эффективность работы промышленных рыбоводных предприятий, особенно в экономической ситуации, сложившийся после перестройки, и в частности в конъюнктуре на рынке сырья.

Если физиологическими и технологическими аспектами кормления млекопитающих и птиц занимаются многие сотни научных подразделений еще с середины XVIII века, то питание и кормление рыб стали предметами изучения значительно позже. Основными причинами этого были ограниченное число рыбохозяйственных научных организаций, а также необходимость преодоления методических трудностей, обусловленных особенностями среды обитания рыб. Вода создает большие проблемы при наблюдении за питающейся рыбой, учете поедаемой рыбами пищи, степенью ее переваривания и количественного определения экскретов. Она экстрагирует, растворяет и рассеивает твердые, жидкие и газообразные продукты выделений рыб.

В конце 40-х и 60-х годах XX века в США, а затем в Японии и других странах начало развиваться индустриальное лососеводство и было положено начало изучению потребностей лососевых рыб в питательных веществах. Исследования в Америке A. Phillips с сотрудниками, J. Halver и его коллег, а также коллективов японских ученых, возглавляемых C. Ogino, T. Watanabe, T. Takeuchi и др., подвели теоретическую базу под создание искусственных кормов и стимулировали развитие индустриальных форм аквакультуры. Несколько позже, в начале 60-х годов, благодаря одновременной разработке T. Nose в Японии и М. Щербины в СССР оригинальных модификаций метода инертных веществ была преодолена значительная часть методических трудностей, которые были связаны с изучением другой стороны физиологии питания рыб – определением их способности извлекать из кормов и усваивать питательные вещества.

В 80–90-х годах наблюдался бум в развитии индустриальных форм аквакультуры и, как следствие, – исследований по кормлению рыб, в том числе по изучению питательных свойств и переваримости комбикормов и их отдельных компо-

нентов. В настоящее время теория и практика мировой аквакультуры в области физиологии питания, техники кормления и технологии изготовления комбикормов для различных видов гидробионтов продолжает развиваться быстрыми темпами. Наиболее активные исследования ведутся в регионах интенсивного развития аквакультуры. К их числу относятся университетские центры Японии, США, Канады, Франции, Германии, Нидерландов, Норвегии, Индии, Израиля и ряда других стран.

В бывшем СССР и России исследованиями практических и теоретических аспектов кормления рыб длительное время занимались отдельные коллективы ученых ВНИИПРХ, ГосНИОРХ, БалтНИИРХ, ВНИРО, КрасНИИРХ, СевНИОРХ, АзНИИРХ, Калининградского и Астраханского технических университетов и ряда других учреждений. Однако несмотря на то что к настоящему времени о питании отдельных видов, в частности карпа, форели и других лососевых, накоплено относительно много сведений, обобщенную и систематизированную научную информацию, доступную для широкого круга специалистов, в нашей стране следует признать ограниченной. Определенный пробел в этой области восполнен монографией И.Н. Остроумовой [2001].

В то же время развитие интенсивных форм аквакультуры требует более подробных и систематизированных знаний о питании рыб, различающихся экологией и характером питания, а также знаний о питательных свойствах сырья, из которого готовятся комбикорма.

Работая над книгой, мы стремились в доступной форме дать читателям информацию о роли основных питательных веществ кормов в жизнедеятельности рыб, обобщить современные данные о потребности в них различных видов, описать, как происходит переваривание корма и количественно охарактеризовать ту его часть, которая остается в организме.

При оценке питательных свойств сырья, кроме данных об общепринятых показателях химического состава, характеризующих содержание протеина, общих липидов, углеводов и энергии, мы даем широкий спектр показателей, которые обычно не учитываются при расчетах рецептов комбикормов. К ним относятся сведения о поедаемости, переваримости основных групп питательных веществ, содержании и доступности таких эссенциальных факторов, как амино- и жирные кислоты, которым в теории и практике современного кормления и кормопроизводства уделяется большое внимание.

Помимо этого, при описании сырьевых источников приводятся сведения, полученные экспериментально или почерпнутые нами из литературных источников, о специфике состава компонентов, наличии в них антипитательных агентов и токсических факторов, что обычно не учитывается при расчетах, но оказывает существенное влияние на питательные свойства корма.

Основная масса экспериментальных материалов получена на теплолюбивом безжелудочном карпе и холодноводной, обладающей желудком, радужной форели – двух видах рыб, резко различающихся по биологии, характеру питания и типу пищеварения. Установленное нами ранее [Щербина, 1980–1984] сходство реакций карпа и форели – столь различных по экологии и физиологии рыб, а также птиц и свиней на специфические свойства комбикормов и их отдельных компонентов позволяет предполагать аналогичную реакцию и других объектов рыборазведения на описываемые нами питательные свойства кормового сырья.

В этом аспекте охарактеризованы более 50 видов растительного, животного и микробиального сырья. Особое внимание уделено рыбной муке как основному источнику полноценного белка в кормлении рыб. Приведены оригинальные данные по оценке влияния различных способов технологии изготовления на ее питательные свойства в кормлении рыб. Для сравнения дано описание питательности таких важных компонентов естественной кормовой базы, как планктонные и бентосные организмы.

Систематизированы подходы к составлению рецептур комбикормов путем подбора компонентов и балансирования их состава по питательным веществам.

В одной из глав дан перечень и охарактеризованы основные технологии подготовки и обработки сырья и изготовления комбикормов, в том числе новейшие – экструдирование и экспандирование. Описываются их влияние на физико-химические и агрегатные свойства кормов и обусловленные этим возможности улучшения питательности последних и сокращения их потерь в воде, а также приближения структуры и агрегатного состояния корма к физиологическим особенностям рыб различных возрастов и видов.

Предлагается аналитическая и экспериментальная система оценки питательности кормового сырья и комбикормов, включающая учет органолептических свойств, степени соответствия количества валовых и переваримых веществ потребностям рыб. Она предусматривает проведение биологических и физиолого-биохимических испытаний на рыбах в модельных и натурных условиях, что позволяет определить скорость роста и продукцию рыб, затраты кормов, а также установить степень изменений в обмене веществ под влиянием специфических особенностей корма, обусловленных технологией его изготовления.

Книга содержит большое количество оригинального табличного материала, как в тексте, так и в Приложениях, пригодного для непосредственного использования в практике создания рецептур комбикормов и кормления рыб.

Монография представляет собой обобщение результатов научных исследований, выполненных в течение четырех десятилетий в лаборатории физиологии питания рыб ВНИИПРХ и НТЦ "Аквакорм" под личным руководством авторов, а также анализ научной литературы в области физиологии питания и практики кормления рыб. Мы искренне благодарны нашим коллегам – С.П. Трямкиной, Л.Н. Трофимовой, А.Н. Канидьеву, Т.Г. Столяровой, И.А. Сальковой, А.В. и Н.В. Линник, Т.В. Щербине, Л.Н. Думе, Н.В. Рекубратскому, А.Ю. Киселеву, Н.Ф. Шмакову, С.В. Пономареву, И.Ф. Першиной, Л.Д. Буховец, Т.И. Сазоновой, ссылки на работы которых часто встречаются на страницах монографии, за большой трудовой и интеллектуальный вклад в выполнение исследований, а О.А. Бондаренко – за помощь при оформлении книги.

Надеемся, что наша монография послужит доступным руководством для тех, кто работает в области аквакультуры.

Глава 1

Значение основных питательных веществ и энергии в жизнедеятельности рыб и потребность в них у различных видов

Для нормального роста и развития рыбам, как и высшим животным, требуется определенный набор питательных веществ, включающий белки, углеводы, липиды, минеральные вещества, витамины. Эти вещества организм рыб использует на поддерживающий обмен и построение новых тканей. Первые три группы веществ при своих превращениях выделяют энергию, необходимую для процессов синтеза и распада, деятельности всех систем организма и движения.

В практике кормления высших позвоночных при составлении рецептов комбикормов оперируют данными о потребностях животных более чем в 40 видах питательных веществ. Для рыб, живущих в резко различных гидрологических и гидрохимических условиях, в частности по температуре, кислороду и солености, современные рекомендации по потребностям в отдельных питательных веществах ограничены и в большинстве случаев основаны на данных по отдельным видам рыб при выращивании в условиях интенсивного культивирования (например, радужная форель, карп, канальный сом). При определении потребностей рыб в питательных веществах, как правило, использовались и используются теперь две группы способов прямые и косвенные: первые основаны на длительном изучении ростового и продукционного эффекта при исключении из диеты различных количеств определенных нутриентов, и последующем их введении [Halver, 1970, 1975, 1976, 1982, 1989; Halver et al., 1964, 1993; Nose, 1967–1979; Ogino, 1973, 1980; Nose, Arai, 1974 и др.]; косвенные – многочисленны и различаются по методическим подходам. Одни из них базируются на гипотезе, что отражением потребностей рыб в питательных веществах может служить химический состав их икры, мышц и естественной пищи [Щербина, Салькова, 1987; Щербина и др., 1988]. В основе других лежат расчеты трат организма на поддерживающий обмен и определение количества веществ и энергии, необходимых для обеспечения активного роста [Phillips, 1969; Kaushik, 1983, 1985–1990 и др.].

Однако имеющиеся сведения далеко не полны не только по отдельным питательным веществам, но даже по их основным группам. Тем более что данные, полученные по отдельным видам рыб на определенной стадии развития (в основном начальной), распространены на другие стадии и виды рыб, которых выращивали в иных условиях [Рекомендации NRC, 1981, 1983; Mambrini, Guillaume, 1999]. При этом часто смешивают понятия "чистой" и "рекомендуемой" потребности в питательных веществах. Если под "чистой" потребностью подразумевается минимальное количество вещества, обеспечивающее нормальный рост рыб в оптимальных условиях среды, то "рекомендуемая" потребность увеличивается на определенный запас. Этот запас необходим из-за возможных вариаций в составе сырья, взаимодействии питательных веществ при смешивании компонентов в процессе изготовления кормов, их потерь при хранении, состояния здоровья рыб, частоты и силы стрессовых ситуаций.

Потребности рыб, как и других животных, в питательных веществах обусловлены генетически заданным уровнем обмена и роста. Они подвержены изменениям в зависимости от биотических (вида, возраста, массы, физиологического состояния, здоровья и др.) и абиотических факторов (температуры, газового и гидрохимического режимов, проточности воды и т. д.) факторов.

Потребность животных в элементах питания выражают либо в процентах от массы рыб в сутки, либо в процентах к сухому веществу корма (белкам, липидам).

Для того чтобы ответить на вопрос, какими должны быть корма, необходимы знания о питательных веществах, их качественном и количественном составе в сырье, биохимической роли и взаимодействии этих веществ в организме.

1.1. Белки и аминокислоты

Белки являются одним из главных элементов клеток и тканей и выполняют широкий диапазон функций. Они входят в состав клеточных мембран и обеспечивают структурную эластичность и жесткость мышц, эластичность скелета и тканей других органов. Внутри клеток, в межклеточных жидкостях и крови белки принимают участие в транспортных и каталитических процессах, входя в состав ферментов. Они обеспечивают защитную функцию, являясь основой антител, и принимают участие в процессах регуляции обмена веществ в составе гормонов. В процессе роста белки являются главной составной частью синтезируемого органического вещества. При организации кормления рыб, как и других животных, количеству и качеству белка в корме как основному фактору, обеспечивающему рост, уделяется особое внимание.

Скорость синтеза белков различных органов у рыб так же, как и у высших позвоночных, неодинакова, что связано со специфическими функциями систем органов. Белки полостных органов вследствие их высокой метаболической активности синтезируются и обновляются значительно быстрее, чем белки мышц. Это подтверждается данными табл. 1 [Mambrini, Guillaume, 1999], согласно которым скорость синтеза белков в различных тканях и органах рыб существенно различается.

Таблица 1. Скорость синтеза белка и его отложение в различных органах и тканях рыб

Орган, ткани	Скорость синтеза, %/сут.	Отложение, % синтезированного белка
Печень	5,3–20,0	5
Жабры	2,4–23,0	–
Пищеварительный тракт	1,3–21,2	8
Желудок	7,8–18,3	–
Красные мышцы	0,3–7,7	–
Белые мышцы	0,1–1,3	70

Наиболее активно обменные процессы идут в тканях жабр, печени и желудка, наименее – в относительно пассивных белых мышцах, за счет которых, однако, обеспечивается основной прирост массы рыб. При этом следует отметить, что химический состав тела рыб и, в частности, количественное содержание белка, отражая видовые различия и возрастные особенности, испытывает колебания в связи с сезонными изменениями условий среды и питания.

В количественном отношении основная масса белка откладывается в белых мышцах. По литературным данным [Hulihan et al., 1986] в мышцах радужной форели откладывается и используется на прирост массы 76% синтезированного этой тканью белка, а в жабрах – лишь 4%. У трески (при максимальном росте 2%/сут.) на прирост используется 60% белка, синтезированного в мышцах, и только 10–30% белка жабр, кишечника и желудка.

Между скоростями синтеза и распада белков обнаружена прямая корреляция. При голодании рыб наиболее быстро расщепляются и утилизируются в эндогенном питании белки белой мускулатуры. Красная мускулатура используется более медленно, что связано с ее важной функциональной ролью в процессе плавания. Белки жизненно-важных органов, в частности нервной ткани и сердца, организм оберегает [Щербина, 1989]. Интересно отметить, что у рыб при равной скорости роста, отложение протеина в белых мышцах идет быстрее, чем у крыс, и он в больших количествах используется на рост (50–70 против 25–40%).

Белки в отличие от жиров, углеводов и витаминов не откладываются в запас, они являются структурным элементом тканей. Их расход в организме при недостаточном поступлении с пищей или голодании приводит к разрушению протоплазмы клеток и, в первую очередь, клеток мышц и печени. Поэтому количество и качество белка, степень его переваримости и усвоения в организме животного во многом определяют питательную ценность корма.

Организм использует для питания не сам белок, а его структурные элементы – аминокислоты, поэтому полноценность пищевых белков во многом зависит от их химического состава, то есть набора и количественного соотношения аминокислот, а также их доступности для организма в процессах переваривания.

Белки животного и растительного происхождения обычно состоят из 20 основных аминокислот. Поэтому их называют протеиногенными. Десять из них (лизин, аргинин, гистидин, треонин, лейцин, изолейцин, валин, метионин, триптофан и фенилаланин) относят к незаменимым (эссенциальным) аминокислотам, так как они не могут синтезироваться в организме из других веществ и обязательно должны поступать с пищей, а если и синтезируются, то со скоростью, недостаточной для удовлетворения его потребностей. К заменимым аминокислотам относятся глютаминовая и аспаргиновая, серин, глицин, α-аланин, пролин, тирозин, цистин, цистеин и ряд других. В то же время при недостатке цистина на его синтез используется незаменимый метионин, а тирозина – фенилаланин. В результате потребность организма в метионине и фенилаланине возрастает. Поэтому иногда цистин и тирозин называют условно незаменимыми аминокислотами, а потребность в серусодержащих и ароматических аминокислотах выражают в виде суммы метионина с цистином и фенилаланина с тирозином [Aoe et al., 1970; Nose et al., 1974; Halver, 1975; Wilson, 1984, 1989; Tacon, Cowey, 1985 и др.].

Если по качественному составу незаменимых аминокислот белки кормов в основном одинаковы, то по их количественному соотношению резко различаются. Специфические проявления недостаточности отдельных незаменимых аминокислот в питании рыб, как и других животных, не имеют в большинстве случаев яркой клинической картины и чаще всего характеризуются признаками, которые проявляются при неполноценном питании вообще. Эти признаки были обнаружены при проведении специальных экспериментов [Halver et al.,1964; Mertz, 1969; Nose,1978; Wilson, 1984,1989; Luquet, 1991 и др.]. К ним относятся замедление роста, потеря аппетита, снижение резистентности (общей устойчивости) организма.

Недостаток незаменимых аминокислот в рационах приводит к повышенному потреблению белка, что значительно увеличивает затраты корма на единицу прироста рыб. Поэтому корма по содержанию незаменимых аминокислот делятся на полноценные и неполноценные.

При резком недостатке незаменимых аминокислот в пище вступает в силу закон "минимума", согласно которому дефицит лишь одной из незаменимых аминокислот ограничивает не только эффективность использования других аминокислот, но и всего белка рациона в целом. При этом тормозится образование мышечной ткани, избыточные аминокислоты используются на энергетические нужды или после дезаминирования превращаются в жиры, или же выделяются из организма с конечными продуктами азотистого обмена (в основном через жабры в виде аммиачных солей).

Потребность в белках корма, по сути, является потребностью в аминокислотах, их качественном наборе и количестве. Естественно, что потребности в отдельных незаменимых аминокислотах у разных видов рыб могут быть неодинако-

выми, поэтому в пище должно существовать такое их соотношение, которое наилучшим образом отвечает пластическим и функциональным нуждам организма. Это соотношение обычно называют "идеальной аминограммой" или "идеальным белком".

В табл. 2 приведены сводные результаты определений потребности различных видов рыб в незаменимых аминокислотах. Их анализ свидетельствует о наличии определенных вариаций. Однако в настоящее время трудно судить, являются ли эти вариации следствием видоспецифических или методологических различий. Но все же привлекает внимание их однородность для большинства аминокислот и сходство с потребностями в аминокислотах птиц и млекопитающих (крыс).

В полноценных для рыб белках корма содержание незаменимых аминокислот обычно составляет 35–50%, остальная часть приходится на долю заменимых. В жизнедеятельности и питании рыб они также имеют большое значение, так как являются поставщиками основного количества обменного азота. При их недостатке идет повышенный распад незаменимых аминокислот, в связи с чем снижается продуктивное действие пищи в целом. Однако их соотношения между собой не имеют такого значения, как соотношения между незаменимыми аминокислотами, поэтому они обычно не нормируются. В процессах обмена в ходе различных реакций заменимые аминокислоты способны к взаимопревращениям, например, путем *переаминирования* (обратимого переноса) аминогруппы без промежуточного образования аммиака. Другая часть аминокислот теряет аминогруппу путем *дезаминирования*, в результате которого образуются углеродные скелеты (кето- и оксикислоты). Последние могут превращаться в углеводы или жиры, или частично использоваться для синтеза других аминокислот путем присоединения к ним свободной аминогруппы. При другой реакции распада белка – *декарбоксилировании* – от его молекулы отщепляется карбоксильная группа, которая также может быть использована для синтеза углеводов и жиров.

Оценку питательности кормовых белков принято давать по тем незаменимым аминокислотам, которые содержатся в наименьших количествах и носят название лимитирующих. Для определения степени аминокислотной полноценности белка используют понятие "аминокислотный скор". Он представляет собой отношение процентного содержания незаменимой аминокислоты в корме к проценту этой же аминокислоты в "идеальном белке" $\left(S_{ак} = \frac{\%Ак\text{-}ты\ в\ кормовом\ белке}{\%Ак\text{-}ты\ в\ идеальном\ белке} \cdot 100\%\right)$.

За идеальное принимается то соотношение и количество аминокислот, которое удовлетворяет потребности организма и обеспечивает его оптимальный рост при минимальном уровне потребляемого белка.

В практике кормления обычно используют термин "сырой протеин". Понятие сырой протеин объединяет группу азотсодержащих веществ белковой и небелковой природы (амины, амиды, аминокислоты, пуриновые и пиримидиновые основания, аммонийные соединения и т.д.). Основу сырого протеина составляют белки. Обычно его рассчитывают путем умножения содержания общего азота в корме на коэффициент 6,25.

Потребности в общем количестве сырого протеина имеют большие видоспецифические и возрастные различия. Они изменяются в зависимости от стадии развития рыб, экологических условий (в частности, температуры, кислородного и гидрохимического режимов и состояния здоровья рыб). Быстрорастущая молодь – личинки и мальки, нуждаются в большем количестве белка, чем взрослые рыбы. Для половозрелых особей уровень белка в корме должен быть ниже, чем для ювенильной молоди, что связано с относительным увеличением расходов на поддерживающий обмен и сокращением трат на процессы роста.

По усредненным данным, оптимальный уровень протеина в сухом веществе комбикормов для молоди всех видов рыб составляет 45–55%. Это связано со сходством питания большинства видов в естественных условиях – преимущественно животными организмами. Именно эта пища способна обеспечить потребности быстрорастущей молоди в структурных элементах для построения тканей и органов. Причем для ранних стадий постэмбрионального развития рыб белок корма частично должен быть представлен мелкими фракциями (свободными аминокис-

Таблица 2. Сравнительные данные о потребности некоторых видов рыб и наземных позвоночных в незаменимых аминокислотах, % белка

Объекты исследований	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Триптофан	Сумма	Источник
Лососи (Salmonidae)	5,0	1,8	6,0	2,3	4,0	3,3	4,3	2,3	4,0	0,5	33,5	3
	–	–	5,0	2,2	1,5+1*	3,0	4,1+0,4**	2,2	3,9	–	–	11, 13
	4,8	1,6	4,4	2,0	3,2+1ц.	5,3	5,3	2,0	3,6	0,6	32,8	15
Радужная форель (Oncorhynchus mykiss)	5,3	1,6	3,5	3,5	1,8+1*	3,1	3+0,5**	2,4	4,5	0,5	30,7	1
	6,1	–	5,9	–	2,9	–	4,3+2**	–	9,1	0,5–1,4	–	2
	6,3	3,8	6,2	4,4	3,4	6,1	5,5	5,3	6,8	0,5	48,3	14***
	7,3	2,3	5,7	4,8	2,9	6,2	5,5	4,7	9,6	0,5	49,5	15
Карп (Cyprinus carpio)	5,3	1,5	3,8	3,3	1,6+2*	3,0	3+2,9*	2,3	4,1	0,6	33,4	1
	5,7	2,1	4,3	3,9	3,1 или 2,1+2*	3,6	6,5 или 3,4+1**	2,5	3,3	0,8	35,8	4
	6,6	2,4	5,8	3,9	2,2	4,6	4,6	3,7	6,2	0,8	40,8	5
	6,0	2,4	4,4	4,2	3,5	8,2	8,2	3,0	4,7	0,8	45,4	15
Канальный сом (Ictalurus punctatus)	6,3	1,7	4,2	2,1	2,3	2,9	5,0	2,5	3,3	0,4	30,7	6
	5,1	1,5	4,3	2,0	2,3	3,0	5,0	2,6	3,5	0,5	29,8	7
	5,0	1,5	4,3	2,1	2,3	4,8	4,8	2,6	3,5	0,5	31,4	15
Осетровые (Acipenseridae)	6,3	1,1	2,8	2,2	–	2,3	1,5	2,1	3,2	–	21,5	10
	4,1	0,7	3,1	2,9	1,0	3,3	2,6	3,5	4,8	–	26,0	12
Тиляпия (Oreochromis zilli)	3,8	1,1	2,8	2,9	1,0	2,2	2,5	2,0	3,4	0,4	22,1	8
	5,1	1,7	4,2	3,8	2,7	2,8	3,8	3,1	3,4	1,0	31,6	9
	4,6	1,7	4,1	3,8	3,2	5,6	5,6	3,1	3,4	1,0	36,1	15
Угорь японский (Anguilla japonica)	4,8	1,9	4,0	3,6	2,9	3,6	5,2	3,6	4,8	0,9	35,3	4
	5,3	2,1	4,5	4,0	3,2	5,8	5,8	4,0	5,3	1,1	41,1	15
Цыплята	5,2	1,5	6,3	3,3	4,0	3,6	6,7	3,5	6,8	1,0	41,9	11
Крысы	5,8	2,5	5,0	4,2	5,0	5,0	6,7	4,2	6,3	1,3	46,0	11

*Цистин.

**Тирозин.

***Потребность определена по составу икры.

Примечание. Источники информации: 1 – Ogino, 1980; 2 – Cho, Cowei, 1991; 3 – Mertz, 1969; 4 – Nose, 1978; 5 – Щербина, Салькова, 1987; 6 – Wilson, 1984; 7 – Wilson, 1991; 8 – Jauncey et al., 1983; 9 – Luquet, 1991; 10 – Kaushik, 1990; 11 – Kaushik, 1995; 12 – Саенко, 1996; 13 – NRC, 1981; 14 – Ketola, 1982; 15 – Kaushik, Cuzon, 1999.

лотами, ди-, олиго- и полипептидами, низкомолекулярными растворимыми белками) и в соотношениях, близких к их соотношениям в зоопланктоне.

По мере роста рыб все более проявляется видовая специфичность. Для хищных лососевых и осетровых содержание протеина в полноценных продукционных комбикормах должно составлять 34–45%, для канального сомика – 30–40%, для полифага карпа – 23–40%.

Существует зависимость между массой рыб и их требованиями к уровню протеина в корме, соблюдение которых обеспечивает максимальный рост рыб в оптимальных условиях среды. По данным И.Н. Остроумовой [1983, 1983а] при выращивании карпов в индустриальных тепловодных хозяйствах при температуре 25–30°С соотношение между массой рыб и уровнем белка в корме должно отвечать указанному ниже:

Масса карпов, г	Содержание протеина в сухом веществе корма, %
0,5–1,0	55–50
1,0–2,0	45–43
20–40	42–40
150 и более	35–30

В то же время при выращивании карпов в прудах рацион является смесью комбикорма и компонентов естественной кормовой базы (зоопланктона, бентоса, детрита и т.д.), и молодь карпа массой свыше 1 г способна даже при более низких температурах хорошо расти, питаясь комбикормами с 28–30% белка (в сухом веществе). С ростом рыб их возможности удовлетворять свои потребности в белке расширяются. Карп приобретает способность питаться кормами с различными уровнем и качеством белка, набирая при этом необходимое его количество за счет увеличения потребления кормов. Молодь массой 10–15 г хорошо растет на комбикормах с 26–30% белка, при достижении массы 100–200 г – с 23–26%, более 200 г – с 20–23%. В комбикормах для двухлеток и трехлеток содержание белка может быть снижено до 18–19% при хорошей обеспеченности естественной пищей. При ее обилии и плотности посадки двухлеток в пруды менее 3000 экз/га можно применять зерна злаков, содержащие 12–13% белка [Щербина, Сапаров, Раденко, 1992].

К факторам среды, существенно влияющим на потребность рыб в белке, относится температура. У рыб как у пойкилотермных животных она определяет интенсивность синтетических процессов и скорость роста. В связи с этим требования различных видов к уровню белка в корме неодинаковы и зависят от степени удаленности температуры окружающей среды от эволюционно выработанного температурного оптимума. По сведениям Ф. Дикушниковой с соавторами [1976], оптимальная температура, при которой была установлена максимальная скорость синтеза белка у ювенильных карпов (при выращивании в садках на теплых водах), составляла около 29°С. И. Н. Остроумова [2001], обобщив собственные и литературные данные, пришла к выводу, что оптимальный рост карпов в садках при различных температурах может быть обеспечен при уровне протеина в корме, указанном в табл. 3.

Таблица 3. Эффективные уровни сырого протеина в комбикормах для карпов в зависимости от массы рыб и температуры среды

Температура, °С	Содержание сырого протеина в корме (% абсолютно сухого вещества) при массе рыб	
	до 40 г	70–100 г
28–30	45	36
23–24	38	32
19–22	24	20
10–15	20	10–20

При культивировании различных видов лососевых на многочисленных примерах показано, что оптимальный уровень сырого протеина в стартовых кормах при 15°С находится в пределах 52–55% (сухого вещества), при 8°С – 40–42% [De Long et al., 1958; Halver, 1970; Гамыгин, 1987].

Содержание кислорода в воде также относится к факторам, влияющим на потребность рыб в белке, и как следствие, на его относительное содержание в комбикормах. Концентрация кислорода ниже оптимальных границ ухудшает условия метаболизма и приводит к снижению эффективности использования белка рыбами. В результате ростовой и продукционный эффекты при оптимальном (для данной температуры и массы рыб) и меньшем на 1/4–1/3, относительном содержании белков в корме могут сближаться. Аналогичное действие могут оказывать загрязнение воды и состояние здоровья рыб.

Оптимальный уровень сырого протеина в кормах зависит от качества используемых белков (чем хуже качество, тем выше должно быть содержание белка) и предполагаемых норм кормления. Последние определяются способностью рыб поедать и переваривать определенный объем корма. В качестве примера в табл. 1 Приложения приведены потребности карпа в белке при различных температурах культивирования и нормы кормления рыб в зависимости от их массы и отно-

сительного содержания белка в комбикорме при выращивании в индустриальных тепловодных хозяйствах.

Таблица 4. Количественные потребности в протеине у различных видов рыб [Щербина, Киселев, Касаткина, 1992; Jauncey, 1995; Kaushik, 1995]

Виды рыб	Тип корма	Оптимальный уровень белка в сухом веществе корма, %	Нормы кормления, % массы тела/сут.	Тип хозяйства
Лососевые, в том числе радужная форель и атлантический лосось	Стартовый	50–45–40	По потребности	Бассейны
	Для молоди	40	В зависимости от T°C и массы рыб	
	Для товарного выращивания	42–40		
Карп:				
личинки	Стартовый	44–42	По потребности	Бассейны
молодь	Продукционный	42–48	2,5–6,0	Садки
сеголетки	–"–	30–28	В зависимости от T°C и массы рыб	Пруды
старшие возрастные группы	Для товарного выращивания	32–28	1–5	Садки
		26–20	В зависимости от T°C и массы рыб	Пруды
Осетровые:*				
личинки и мальки	Стартовый	45–55	По потребности	Бассейны
старшие возрастные группы	Продукционный	35–45		Бассейны, садки
Канальный сом:				
личинки	Стартовый	45–50	По потребности	Бассейны
сеголетки	Продукционный	42–29	3	Бассейны
	–"–	25	3–4	Пруды
старшие возрастные группы	Для товарного выращивания	35	3	Бассейны
	То же	35	1–4	Садки
	–"–	25	По потребности	Бассейны
	–"–	36–35	1–4	Пруды
Тиляпии:				
цили – сеголетки	Продукционный	40–35	5–4	Бассейны
нильская – молодь	–"–	30	–	–"–
Угорь японский:				
личинки	Стартовый	45	–	Садки
молодь	Продукционный	43–41	–	–"–

*По Пономареву, Гамыгину и др., 2002; прочерк – отсутствие сведений.

В обобщенном виде рекомендации об оптимальных уровнях сырого протеина в комбикормах для ряда пресноводных рыб, выращиваемых в хозяйствах различных типов, содержатся в табл. 4.

На различных видах культивируемых рыб было установлено, что при использовании полноценных комбикормов и естественной пищи (например, личинок хирономид) на 1 кг прироста массы требуется 450–650 г белка [Щербина, 2000]. Превышение этого уровня, как правило, свидетельствует о неполноценности белкового состава рациона или дисбалансе соотношения основных питательных веществ. При этом следует учитывать, что излишки белка в рационе не проходят для организма бесследно. На их переваривание, всасывание, а также на удаление

продуктов катаболизма тратится значительное количество энергии и веществ из внутренних запасов организма.

Показано, что оптимальный уровень белка в комбикормах находится в определенной связи с энергетической обеспеченностью рациона. Если ранее полагали, что наибольшей эффективностью для лососевых обладают корма, где доля энергии белка составляет 40–65%, то в дальнейшем было установлено, что белок может быть сэкономлен, если корм будет обеспечен достаточным количеством энергии за счет безбелковых источников. Наибольшую ценность в этом отношении представляет жир. Высокая эффективность выращивания радужной форели на протяжении всего жизненного цикла была получена при использовании корма с относительно низким содержанием протеина и высоким – жира, соответственно 35–38 и 30–36% [Cho, Kaushik, 1985, 1990].

Меньшую энергетическую ценность представляют углеводы, в частности сырой крахмал, обладающий низкой переваримостью.

Оптимальные соотношения протеина и энергии для большинства объектов аквакультуры находятся в пределах 12–30 мг переваримого протеина на 1 кДж переваримой энергии, а протеина и жира – 36:18 [Kaushik, 1990] (табл. 5).

Питательная ценность основных источников кормовых белков будет описана в главе 3.

Таблица 5. Соотношение переваримых протеина и энергии в высокопродуктивных комбикормах и естественной пище для некоторых видов пресноводных рыб

Вид рыбы	Вид пищи	T, °C	Масса рыб, г	Протеин, мг/кДж энергии
Радужная форель (1)	Комбикорм	11–14	15	19
	То же	19–23	6–20	20–25
	–"–	23	4–10	21–23
	–"–	23	11–15	21–20
	–"–	24	170–1200	21–23
Чавыча (2)	–"–	7,5–1,5	106–197	21–22
Канальный сом (1)	–"–	27	0,1	30
			0,2	29
			1,7	28
			3,5	24
Тиляпия (1)				
золотая	Комбикорм	31	2,5	29
	То же	31	7,5	26
нильская	–"–	21–25	6	16–17
Карп (3)	Комбикорма:			
сеголетки	алкановые	24–25	1–17	23
	дрожжи	23–25	14–35	24
	Личинки хирономид	24	20–38	19
годовики	Daphnia magna	24	15–35	23
	Комбикорм	22–24	15–50	21
двухлетки	То же	21–23	50–250	19
Карп (4)				
двухлетки	–"–	–	40–300	12–13

Примечание. Источники: 1 – Kaushik, 1990, 1995; 2 – Silver et al, 1993; 3 – Щербина, неопубликованные данные; 4 – Eckhardt, 1983.

1.2. Жиры и жирные кислоты

Жиры, или липиды, как питательные вещества являются высококонцентрированными источниками энергии, в то же время они содержат в своем составе многие жизненноважные вещества, такие как незаменимые жирные кислоты, жирорастворимые витамины и т.д. Физиологическое значение жиров пищи для рыб не ограничивается их ролью как поставщиков энергии. По своим функциям в организме они служат структурными и рецепторными компонентами клеточных оболочек, а также являются передатчиками биологических сигналов. В живом организме процессы синтеза и распада жиров происходят непрерывно. Синтез осуществляется в цитоплазме клеток, распад – в митохондриях с освобождением энергии.

Содержащиеся в кормах жиры оказывают влияние на их химические свойства и структуру, включая прочность и водостойкость, на вкус и аромат, а также привлекательность для рыб.

Жиры представляют собой сложную смесь органических соединений, различных по своей химической природе, но обладающих общим специфическим свойством – нерастворимостью в воде и растворимостью в органических растворителях (этаноле, ацетоне, эфире, гексане, хлороформе и т.д.). По принятой в зоотехнии схеме химических анализов эти соединения объединяются в группу "сырой жир".

По химическому составу жиры относятся к классу эфиров и делятся на простые (липиды) и сложные (липоиды).

Простые липиды – это эфиры трехатомного спирта глицерина (а также ряда других высокомолекулярных спиртов) и разнообразных жирных кислот. В зависимости от того, сколько гидроксильных групп глицерина замещено жирными кислотами, они носят название моно-, ди- и триацилглицеринов. К этой группе относятся еще воски и стериды.

Сложную смесь триглицеридов (или триацилглицеринов) обычно называют нейтральными липидами, нейтральными жирами или просто жирами [Кизиветтер, 1973].

Триглицериды – главный энергетический резерв организма. Они концентрируются в подкожной жировой ткани, тканях, окружающих внутренние органы – кишечнике, гонадах, селезенке, костях, а также в органах, активно участвующих в жизнедеятельности организма – печени, мозге, мышцах. В клетках тканей они очень тонко диспергированы, вследствие чего на большой поверхности соприкасаются со многими веществами, входящими в состав клеточных структур. Будучи плохими проводниками тепла, они предохраняют внутренние органы от охлаждения, участвуя в процессах теплорегуляции. Кроме того, упругая жировая прослойка, облегающая отдельные органы, одновременно играет роль амортизатора. В качестве запасных липидов они являются подвижной составной частью тканей, и уровень их накопления находится в прямой зависимости от упитанности.

В одноименных тканях различных видов рыб липиды накапливаются избирательно. Их содержание в мышцах находится в пределах 0,2–28%, печени – 0,5–80%, костной ткани – 0,5–2%, крови, слизи – 0,01–0,05%, жировой ткани – 42–92% [Кизиветтер, 1973].

Липоиды, или сложные липиды. Многочисленная группа жироподобных веществ. Среди них очень важную физиологическую роль играют фосфолипиды.

Фосфолипиды (или фосфатиды) представлены многообразной группой веществ различного состава и структуры. Это сложные эфиры многоатомных спиртов и высокомолекулярных жирных кислот, соединенных с фосфорной кислотой и азотистыми основаниями. Радикалы фосфорной кислоты несут отрицательный заряд, поэтому группа имеет еще одно название – *полярные липиды.* В число наиболее часто встречающихся азотистых соединений входят холин, этаноламин, серин.

К фосфолипидам, образованным на основе глицерина, относят лецитины (например, фосфатидилхолин, лизолецитин), кефалины, серинфосфатиды, а на ос-

нове других спиртов (сфингозина, инозитола) – сфингофосфатиды и инозитфосфатиды.

Фосфатиды в виде протеолипидных комплексов входят в состав оболочек и протоплазмы клеток всех животных организмов. Вместе с другими липидами они образуют периферическую мембрану клеток и их органелл.

Функциональное значение фосфолипидов обусловлено их бифазным характером, который позволяет регулировать проницаемость клеточных оболочек. Одна часть молекулы, содержащая жирные кислоты, способна пропускать через себя жирорастворимые вещества, другая – водорастворимые. Фосфолипиды поддерживают работу таких клеточных механизмов, как ионный обмен, дыхание, биологическое окисление. Они влияют на процессы окислительного фосфорилирования в митохондриях, где их содержание достигает 30%. Из-за недостатка в организме рыб фосфолипидов нарушается жировой обмен, что вызывает жировое перерождение печени, нередко приводящее к патологическим изменениям этого органа. В составе мозговой ткани фосфолипиды (в частности лецитины) обеспечивают нормальное функционирование нервной системы. Поддерживая постоянство внутренней среды и межклеточный обмен, фосфолипиды способствуют адаптации организма к изменяющимся условиям. В общих липидах рыб фосфолипиды составляют 10–20%, а иногда и более.

Содержание структурных и плазматических липидов отличается относительным постоянством и, практически, не зависит от упитанности или истощенности организма. Состав запасных липидов определяется в основном особенностями пищевых жиров.

Жирные кислоты. Химические и физиологические свойства различных липидов во многом зависят от типа и количественного содержания жирных кислот. По характеру химических связей их делят на насыщенные, в которых все атомы углерода соединены между собой одной связью, и ненасыщенные, обычно имеющие от 1 до 6 двойных связей и получившие название моно- и полиненасыщенных (или моно- и полиеновых). По положению первой двойной связи (по отношению к последнему атому углерода в концевой метильной группе, что обозначается символом n или ω) ненасыщенные жирные кислоты делятся на следующие семейства (или ряды): линолената (n-3), линолеата (n-6), пальмитоолеата (n-7) и олеата (n-9). При увеличении числа углеродных атомов и двойных связей в жирных кислотах температура их плавления понижается (рис. 1).

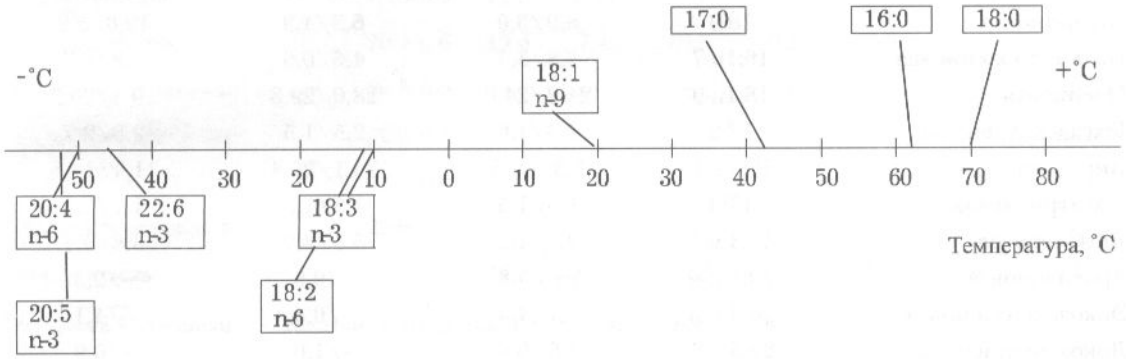


Рис. 1. Температура плавления ряда жирных кислот [по Corraze, 1999]

В липидах растений преобладают ненасыщенные кислоты, поэтому растительные масла имеют жидкую консистенцию и низкую точку плавления. В жирах теплокровных животных преобладают насыщенные и мононенасыщенные кислоты (олеиновая, пальмитиновая, стеариновая). Поэтому их жир имеет более плотную консистенцию и более высокую точку плавления. Их основные полиненасыщенные кислоты – линолевая и арахидоновая, принадлежат к семейству линолеата (n-6).

Липиды теплокровных животных при правильном питании обычно имеют такой состав жирных кислот, который при температуре тела позволяет организму

поддерживать жидкую консистенцию жира. Для липидов рыб как пойкилотермных животных характерны значительно более разнообразные жирные кислоты с большим числом углеродных атомов (12–24). Среди них преобладают ненасыщенные жирные кислоты – их около 70%, в том числе с 1–6 двойными связями.

По сравнению с теплокровными животными у рыб в составе полиненасыщенных жирных кислот заметно больше кислот ряда линолената (n-3). Соотношение полиеновых кислот n-3/n-6 рядов служит отличительным признаком липидов морских и пресноводных рыб. У морских рыб оно значительно шире, чем у пресноводных (известные диапазоны составляют соответственно 5–14 и 1–4). Причем в липидах морских рыб преобладают эйкозопентаеновая (20:5 n-3) и докозогексаеновая (22:6 n-3) кислоты. У пресноводных холодноводных рыб доля n-3 кислот с 5 и 6 двойными связями также выше, чем у тепловодных. Это создает необходимую жидкостность структуры клеточных мембран и позволяет поддерживать их нормальную проницаемость при более низких температурах, чем у тепловодных рыб, обитающих в пресной воде.

Одним из факторов, от которых зависят липидный состав тканей рыб, их вкус и сроки хранения рыбной продукции, является состав липидов пищи (табл. 6, 7). Так, при длительном питании радужной форели кормом с преобладанием тех или иных жирных кислот изменяется их содержание в общих липидах. В случае обогащения корма рыбьим жиром наиболее существенные сдвиги отмечены в содержании докозагексаеновой, пальмитиновой (увеличение), а также линолевой, линоленовой и арахидоновой (снижение) кислот. При использовании масла подсолнечника в теле рыб отмечено повышение уровня линолевой и линоленовой кислот и понижение – эйкозопентаеновой и докозагексаеновой. В варианте со свиным жиром возрастает доля стеариновой и арахидоновой кислот, сокращается – линолевой и докозагексаеновой.

Таблица 6. Влияние состава липидов комбикорма (слева от черты) на соотношение жирных кислот в теле двухлеток радужной форели (справа от черты), % общей суммы (период опыта 100 сут.) [по Сергеевой, 1984]

Жирные кислоты	Код кислоты	к/к + 10% рыбьего жира	к/к + 10% подсолнечного масла	к/к + 10% свиного жира
Миристиновая	14:0	5,5/3,3	1,8/1,8	2,0/1,6
Пентадекановая	15:0	1,8/0,8	1,4/0,9	1,2/1,0
Пальмитиновая	16:0	26,9/28,6	21,7/14,6	22,4/19,3
Стеариновая	18:0	8,9/3,0	6,5/4,3	12,0/5,9
Пальмитоолеиновая	16:1n-7	7,8/3,7	4,6/6,6	9,2/3,7
Олеиновая	18:1n-9	24,0/24,6	28,0/29,3	29,4/25,3
Гексадекадиеновая	17:2	4,3/1,6	2,5/1,5	2,8/2,7
Линолевая	18:2 n-6	5,3/10,3	25,1/26,4	11,4/14,6
Гексатриеновая	17:3	1,6/1,5	1,8/1,3	1,2/2,2
Линоленовая	18:3 n-3	2,8/1,2	5,3/4,9	3,8/4,7
Арахидоновая	20:4 n-6	сл./0,3	–/0,5	–/2,3
Эйкозапентаеновая	20:5 n-3	2,7/4,4	–/0,4	–/4,1
Докозапентаеновая	22:5 n-3	4,0/0,6	–/1,0	–/0,9
Докозагексаеновая	22:6 n-3	2,6/8,1	–/2,9	–/1,3
Сумма жирных кислот:				
насыщенных		43,1/35,7	31,5/24,6	37,5/27,8
мононенасыщенных		32,6/32,4	32,6/36,9	38,5/33,8
полиненасыщенных		24,3/31,9	35,9/41,5	24,0/38,4
Отношение жирных кислот n-3/n-6		2,3/1,3	0,2/0,3	0,3/0,7
Сумма общих липидов		16,5/14,8	16,9/14,5	16,4/14,4

Примечание. В данной и последующих таблицах к/к – сокращенно комбикорма; прочерк (здесь и в табл. 7) – жирные кислоты не обнаружены.

Таблица 7. Состав жирных кислот общих липидов молоди карпа и ее пищи, % общей суммы жирных кислот

Жирные кислоты	Код кислоты	Источники жиров						
		Зоопланктон (1)	Зообентос (2)	Личинки карпа, 10 сут на естественной пище (1)	Комбикорм Эквизо-1 (2)	Личинки карпа, 10 сут на Эквизо-1 (1)	Дрожжевой (80%) комбикорм (2)	Мальки карпа, 28 сут., на дрожжевом комбикорме (2)
Насыщенные, в том числе:								
Миристиновая	14:0	3,3	2,7	2,3	0,1	0,3	0,8	0,7
Пентодекановая	15:0	0,8	0,6	–	–	–	–	–
Пальмитиновая	16:0	24,0	13,6	27,9	16,8	27,3	18,7	20,3
Маргариновая	17:0	0,7	1,6	–	–	–	–	–
Стеариновая	18:0	5,2	6,7	17,0	7,6	11,1	1,1	4,5
Общая сумма		34,7	25,2	47,2	25,2	38,7	20,7	25,6
Мононенасыщенные, в том числе:								
Миристолевая	14:1	1,1	1,6	0,4	0,2	0,2	–	–
Пентадеканолевая	15:1	0,1	0,5	–	–	–	–	–
Пальмитоолеиновая	16:1 n-7	14,4	7,2	12,6	6,5	8,9	9,6	10,1
Олеиновая	18:1 n-9	13,0	20,9	20,1	54,3	30,3	40,5	42,2
Эйкозамоноеновая	20:1 n-9	1,2	0,5	0,1	–	0,2	0,2	1,7
Общая сумма		29,8	31,4	33,1	63,0	39,6	50,3	54,0
Полиненасыщенные, в том числе:								
Линолевая	18:2 n-6	2,7	7,9	1,9	9,5	3,9	18,0	3,8
Линоленовая	18:3 n-3	12,3	17,4	4,5	1,5	2,1	2,9	0,4
Арахидоновая	20:4 n-6	10,6	7,4	10,8	0,5	7,3	–	1,9
Эйкозапентаеновая	20:5 n-3	–	–	–	–	–	–	0,1
Докозапентаеновые	22:5 n-3	–	–	–	–	–	–	0,1
	22:5 n-6	–	–	–	–	–	–	1,1
Докозагексаеновая	22:6 n-3	0,5	–	–	–	–	–	0,7
Общая сумма		36,2	43,4	19,3	11,8	21,3	20,9	14,1

Примечание. Источники: 1 – Касаткина, Щербина, 1999; 2 – Radunz-Neto, 1994.

Сходство состава липидов пищи и организма рыб обусловлено существованием двух основных путей всасывания жира в пищеварительном тракте: первый – после полного предварительного расщепления (липолиза), второй – без него. При липолизе жир распадается на глицерин и жирные кислоты. Жирные кислоты с короткой углеродной цепью активным путем транспортируются через слизистую оболочку кишечника в кровь и далее поступают в воротную вену и печень. Здесь в цитоплазме рабочих клеток печени – гепатоцитах – они используются для синтеза тканевых липидов или текущих метаболических потребностей. Кислоты с длинными углеродными цепями, превращаясь в триглицериды, вместе с холестерином и фосфолипидами образуют микроскопические капельки, заключенные в белковые глобулиновые оболочки, так называемые "хиломикроны".

Последние переходят в лимфу, а затем в кровь, переносящую их к печени. В тканях печени жирные кислоты либо используются для синтеза собственных структурных липидов, либо вновь поступают в кровь и разносятся по организму, где могут депонироваться в форме триглицеридов. Фосфолипиды подвергаются ферментативному расщеплению на составные части. Всасываясь в кишечнике, продукты их распада поступают в печень, где из них синтезируются фосфолипиды, специфичные для данного организма.

Обмен жирных кислот в жировой ткани зависит от степени обеспеченности животного организма энергией. При избыточном поступлении энергии с кормами жирные кислоты липидов корма остаются в жировой ткани. При низком уровне жирных кислот в рационе удовлетворение потребности организма идет за счет депонированных жирных кислот.

Окисление жирных кислот, происходящее в митохондриях клеток, является одним из наиболее эффективных путей снабжения организма энергией. При окислительном распаде 1 г жира организм рыб получает 39,4 кДж энергии, тогда как при распаде 1 г белков – 22,9 и 1 г углеводов – 16,4 кДж. Распадаясь в организме, жиры дают не только энергию, но и воду. При окислении 1 г жиров выделяется 1,07 г воды, 1 г белка – 0,41 г, 1 г углеводов – 0,55 г.

Помимо пищи, источниками жирных кислот служат углеродные остатки углеводов, белков и жирных кислот тканей. Из 100 г белка может образоваться 51 г, а из 100 г крахмала – 41 г липидов.

Однако часть полиненасыщенных жирных кислот не может синтезироваться в организме и должна поступать с пищей. Поэтому их, также как аминокислоты, относят к незаменимым факторам питания.

Биологическая активность эссенциальных кислот определяется местом расположения двойных связей и пространственной конфигурацией этих двойных связей в молекуле. Наибольшей активностью обладают цис-изомеры, у которых первая двойная связь находится между 3-м и 4-м атомами углерода от концевой метильной группы. Поэтому в число незаменимых жирных кислот входит линоленовая с тремя двойными связями (18:3 n-3). Высоко активна и линолевая кислота, имеющая две двойные связи (18:2 n-6).

Кроме них, физиологически важными по выполняемым функциям для рыб считаются их производные: арахидоновая кислота (20:4 n-6) с четырьмя, эйкозопентаеновая (20:5 n-3) и докозапентаеновая (22:5 n-3) с пятью и докозагексаеновая (22:6 n-3) с шестью двойными связями.

Последние у некоторых видов рыб могут образовываться из линолевой и линоленовой кислот путем ферментативной элонгации (удлинения цепи) и десатурации (образования двойных связей).

Наиболее типичные признаки дефицита незаменимых жирных кислот – это снижение аппетита, замедление роста, заболевания кожи и плавников (выражаются в нарушении пигментации и последующем некрозе), повреждение хлоридных клеток жабр, осуществляющих осморегуляцию. Нарушения липидного обмена проявляются в повышенном отложении жира в печени и на внутренних органах. Нарушается воспроизводительная функция, снижается иммунитет. В результате повышается восприимчивость рыб к инфекциям и т.д. Большинство нарушений наблюдается у ранней молоди или производителей до и после нереста, при голодании или недостаточно полноценном питании.

Обобщенные данные о качественных и количественных потребностях рыб в жирных кислотах приведены в табл. 8.

Число незаменимых жирных кислот и потребность в них зависят от видовой принадлежности рыб, температурных условий их обитания и солености воды. Пресноводные холодноводные рыбы в основном нуждаются в n-3 кислотах линоленового ряда: линоленовой (18:3 n-3), эйкозапентаеновой (20:5 n-3) и докозагексаеновой (22:6 n-3). В то же время форель способна путем десатурации легко преобразовывать линоленовую кислоту (18:3 n-3) в кислоту 20:5 n-3 и 22:6 n-3. Однако по некоторым данным [Takeuchi, Watanabe, 1977], молодь холодноводных рыб обладает более ограниченной способностью к элонгации и десатурации, т.е. син-

тезу высоконенасыщенных жирных кислот с большим числом углеродных атомов, и поэтому ее потребности в пента- и докозагексаенах выше, чем у взрослых. Отмечено, что способность у форели к биоконверсии жирных кислот существенно выше, чем у морских рыб. Если принять ее за 100%, то у аю она составит 36, угря – 20, дорады – 15, мраморного морского окуня – 7% [Corraze, 1994]. Поэтому морские рыбы больше нуждаются в кислотах 20:5 n-3 и 22:6 n-3. Линоленовая кислота в их питании не эффективна.

Таблица 8. Потребность различных видов рыб в незаменимых жирных кислотах

Вид рыб	Жирная кислота	Потребность в составе комбикорма, % от рациона	Источники
Радужная форель (Oncorhynchus mykiss)	18:3 n-3	0,8–1,7 (20% от общих липидов)	Watanabe, Takashima, Ogino, 1974 Takeuchi, Watanabe, 1977
	или		
	20:5 n-3	1,0 или по 0,25 каждой	
	22:6 n-3	(10% от общих липидов)	
Кета и чавыча (O. keta, O. tshawytsha)	18:2 n-6	1	Kanazava, 1985
	18:3 n-3	1	Corraze, 1994
Кижуч (O. kisutch)	18:3 n-3	1,0–2,5	Kanazava, 1985
Аю	18:3 n-3	1,0	–"–
	или		
	20:5 n-3	1,0	
Сиговые (Coregoninae)	18:3 n-3	1,0	Opačak, 1996 (цит. по Corraze, 1994)
	или		
	20:5 n-3	0,25	
	22:6 n-3	0,25	
Карп (Cyprinus carpio)	18:2 n-6	0,5–1,0	Watanabe et al., 1975
	18:3 n-3	0,5–1,0	Takeuchi, Watanabe, 1977a
	18:2 n-6	0,5 при общих	Щербина, Киселев,
	18:3 n-3	0,5 липидах более 5%	Касаткина, 1992
	20:4 n-6	0,5	
Тиляпии: Oreochromis zilli	18:2 n-6	1,0	Kanazava, 1985
	или		
	20:4 n-6	1,0	
O. niloticus	18:2 n-6	0,5–1,0 или	Takeuchi et al., 1983
	20:4 n-6	1,0	
Канальный сом (Ictalurus punctatus)			
	18:3 n-3	1–2	Jauncey, 1995
	Σ n-3 ВНЖК	0,5–0,75	
	18:3 n-3	<1	Tacon, 1987 (цит. по Corraze, 1994)
Японский угорь (Anguilla japonica)	18:2 n-6	0,5	Sticney, Hardiy, 1989
	18:3 n-3	0,5	(цит. по Corraze, 1994)
Тюрбо (Rhombus maximus)	20:5 n-3	0,8	–"–
	или		
	22:6 n-3		

Для теплолюбивого карпа необходимы линолевая, линоленовая и арахидоновая кислоты. Тиляпия имеет четко выраженную потребность в кислотах линолевого (n-6) ряда и слабо растет при высоких уровнях линоленовой кислоты (n-3 ряд). Для морских рыб требуется высоконенасыщенные кислоты n-3 ряда с 5 и 6 двойными связями, т.к. они обладают ограниченной способностью преобразовывать линоленовую кислоту в пентаены и гексаены.

Уровень общих липидов в комбикормах для различных объектов аквакультуры может варьировать в широких пределах в зависимости от биологии и характера питания вида, возраста, условий среды (температуры, солености) и способа выращивания рыб (в прудах, садках, рециркуляционных системах). Оптимальный уровень липидов в кормах для пресноводных (форели, карпа, тиляпии) и морских (лаврака, тюрбо) рыб [по Corraze, 1999] приведен ниже.

Виды рыбы	Форель	Карп	Тиляпия	Лаврак	Тюрбо
Содержание липидов, % сухого вещества	18–20	<18	<10	12–15	<15

Наивысшая эффективность использования корма у радужной форели получена при содержании белка и жира в рационе соответственно 44 и 18%, а также 42 и 23% (табл. 9).

Карп без видимых вредных последствий может переносить до 40% доброкачественного жира в диете [Kaushik, 1995]. Нижняя граница 3–2,5%. При ее снижении нарушается нормальный ход обменных процессов, что приводит к снижению эффективности использования корма и, в частности, белка. В этом случае организм вынужденно использует в процессах пищеварения эндогенные запасы липидов и часть их удаляется с экскрементами [Щербина, 1973а].

Таблица 9. Эффективность кормления радужной форели в зависимости от соотношения доброкачественных липидов и белков в комбикормах (масса рыб 100 г, Т° воды 10–12° С) [Corraze, 1994, цит. по Остроумовой, 2001]

Показатели	Варианты опытов			
	1	2	3	4
Содержание органических веществ и энергии в кормах				
Сырой протеин, %	48	46	44	42
Сырой жир, %	12	15	18	23
Углеводы, %	21	20	19	16
Энерго-протеиновое отношение, ккал/г	9,9	10,5	11,4	12,5
Эффективность кормления				
Среднесуточный прирост, % массы	1,2	1,4	1,5	1,6
Кормовой коэффициент	1,3	1,2	1,1	1,0

Известно, что жиры как источник энергии обладают "белоксберегающим" действием. В японской практике для индустриального карпа при увеличении в комбикормах доброкачественных жиров до 18% количество белка снижали с 45 до 29% без ухудшения продукционного эффекта, у форели сходный эффект наблюдали при увеличении жира с 15 до 20% и соответственно снижении протеина с 48 до 35%. Аналогичные исследования имеются по белокорому палтусу. Уровень полноценного жира в корме форели, равный 25–30%, также не вызывает нежелательных отклонений в метаболизме и росте рыб. По имеющимся данным, у атлантического лосося при увеличении уровня жира с 22 до 30% усвоение пищи повышается на 10% и отходы органического вещества, аммония и фосфора снижаются на 23, 35 и 22% соответственно. Уровень жира в корме, равный 33–36%, у лососей, выращиваемых на морских фермах Норвегии, также оказывает положительное действие. Причем лучший прирост массы и оплата корма отмечены у

рыб, питавшихся кормом с 36% жира в зимний период (3 °С, продолжительность светового дня 6 ч). Летом (при температуре 15 °С, продолжительности светового дня 20 ч) лучший эффект дал корм с 33% жира. Сезонные изменения температуры влияют на соотношение между основными питательными веществами корма. По мнению норвежских исследователей, зимой содержание жира в корме лососей должно быть значительно выше, чем с летом, тогда как доля белков должна быть летом выше, чем зимой [Rørvik et al., 1998, цит. по Мирзоевой, 1999].

Промышленные корма для форели в настоящее время выпускаются западными фирмами (например, "Эвос") с содержанием 20–22% жира, 44–52% протеина и до 1% клетчатки. Проблема в технологических приемах сохранения доброкачественности жира, т.е. предотвращении его окисления и порчи.

Большое значение имеет качественный и количественный состав питательных веществ в рационах. Высокий уровень жира в кормах может изменять потребность рыб в других элементах питания. Так, в комбикормах для лососей с 15%-ным уровнем жира для устранения симптомов недостаточности витамина Е потребовалось в 3,3 раза увеличить обычно рекомендуемые дозы α-токоферола (до 100 мг/кг корма). С повышением уровня витамина Е улучшается качество выращиваемой продукции (ее цвет, вкус, увеличиваются сроки хранения [Albrektsen, Wathen, 1997].

Жиры, входящие в состав сырья или жировых добавок, обладают способностью в присутствии кислорода воздуха окисляться по типу перекисного окисления. Активизации процессов окисления способствует фермент липоксидаза, которая присутствует в большинстве видов сырья. В результате комбикорма становятся токсичными. Вредное влияние прогорклых жиров на рыб известно давно. Оно выражается в торможении роста, возникновении анемии, нарушении жирового обмена (уменьшается отложение полиненасыщенных жирных кислот), повреждении мускулатуры и снижении общей резистентности и выживаемости рыб. Известен синдром "усыхающей спины".

Способность липидов к окислению зависит от их состава, технологии изготовления и хранения исходного сырья и комбикормов. Более жирное сырье прогоркает быстрее, чем менее жирное. Жиры, содержащие большее количество полиненасыщенных жирных кислот, окисляются быстрее, чем насыщенные (например, рыбий жир прогоркает быстрее, чем говяжий). Специфический запах рыбьего жира обусловлен продуктами окисления докоза- и эйкозапентаеновых и гексаеновых кислот, запах льняного масла – линоленовой, оливкового – олеиновой и т.д.

Окислению липидов способствуют повышение температуры, влажности, развитие микроорганизмов, разлагающих питательные вещества кормов, в частности белки. В окислении липидов участвуют окислительные ферменты собственно кормов (например, липоксидазы соевого, подсолнечного и других видов жмыхов и шротов), а также ферменты, вырабатываемые развивающейся микрофлорой.

Этот процесс приводит к образованию перекисей в результате реакции свободных и связанных жирных кислот с молекулярным кислородом воздуха. Для его начала необходимы повышенная температура (15–30°С) и присутствие влаги. На свету он усиливается. Образовавшиеся перекиси инициируют свободнорадикальное окисление липидов, белков и углеводов. Накопление продуктов перекисного окисления жира в кормах вызывает разрушение содержащихся в них витаминов А, Д, Е, В, и особенно витамина С, а также незаменимых аминокислот [Ржавская, 1976]. Окисление липидов может усиливаться при наличии в комбикормах больших количеств рыбной муки, которая обычно богата не только высоконенасыщенными жирными кислотами, но также белками и железом.

Все перечисленное приводит к резкому снижению продуктивного действия комбикормов. Поэтому при применении комбикормов, особенно с высоким содержанием рыбной муки или жировых добавок, необходим контроль за соблюдением условий хранения и сроков годности; обязательна лабораторная оценка качества входящего в их состав жира.

Для оценки качества жира наиболее информативным считается такой показатель, как кислотное число, характеризующее степень гидролиза жиров и наличие свободных жирных кислот, которые быстрее, чем триглицерины (нейтральные жиры), подвергаются окислению с образованием вредных веществ. В процессе окисления жиров этот показатель возрастает. Кислотное число выражается в количестве КОН (мг), необходимом для нейтрализации свободных жирных кислот, содержащихся в 1 г жира. В комбикормах для лососевых рыб, наиболее чувствительных к окисленным жирам, стандартный показатель перекисного числа – от 30 до 55 мг КОН/г жира, причем первый, более жесткий – для молоди [Картавцева и др., 1987].

Существует ряд способов предупреждения развития перекисного окисления липидов в комбикормах и устранения неблагоприятного воздействия продуктов окисления на организм рыб. К ним относится введение в процессе изготовления комбикормов жировых добавок с антиоксидантами естественного происхождения (например, α-токоферола, витамина С), или синтетического (ионола, сантохина, дилудина и др.), а также комплекса витамина Е с микроэлементом селеном или введение в определенных соотношениях солей цинка и меди.

Вредное влияние окисленных жиров на рыб в какой-то мере помогает снять опрыскивание комбикормов водным раствором витамина С непосредственно перед скармливанием [Князева, 1979].

1.3. Углеводы

В организме рыб углеводы входят в состав клеток, плазмы крови и межклеточных жидкостей всех тканей. Они находятся в виде свободных сахаров, олиго- или полисахаридов, а также в соединении с белками, минеральными элементами и другими веществами. Их количество в организме невелико и в расчете на сухое вещество в среднем составляет 2,5–5,0%. Основная масса находится в мышцах и печени в виде полисахарида гликогена, много их в соединительных тканях, в частности скелетной. В жизнедеятельности животных глюкоза и гликоген играют важную роль как вещества, легко подвергающиеся распаду в тканях с освобождением энергии. Основная биохимическая роль углеводов – поставка органических кислот, необходимых для осуществления пластического и энергетического обмена.

Известно, что часть энергетических потребностей животного организма даже при наличии других источников обязательно должна покрываться за счет расщепления углеводов. Существует известное выражение – "жиры сгорают в пламени углеводов". В связи с этим организму небезразлично какие энергетические источники поступают с пищей.

Питательная ценность углеводов пищи тесно связана с их химическим строением и соотношением в них отдельных структурных групп. Немаловажное значение имеет их удобоваримость, то есть возможность пищеварительной системы осуществлять расщепление и всасывание этих соединений.

При недостатке углеводов и в случае малого поступления жиров организм вынужден покрывать энергетические потребности за счет расщепления белковой части кормов. Таким образом, от количества и качества углеводов в рационе и степени их переваримости во многом зависит эффективность использования белка на рост рыб.

С практической точки зрения, обеспечение рыб энергией в форме углеводов позволяет сохранять белки и, следовательно, избежать перерасхода дорогостоящего животного сырья, а также сократить выброс в воду токсических продуктов его распада (аммиака, нитритов и др.).

К углеводам относят большое количество соединений, различных по химическому составу. По своей природе они являются альдегидами или кетонами многоатомных спиртов, или продуктами их конденсации. Исходя из питательной ценности, их принято делить на две большие группы. К первой группе относят углеводы, входящие в состав оболочек клеток, ко второй – заключенные внутри клеток (в основном это различные сахара, а также такие полисахариды, как крахмал

у растений и гликоген у животных). По способу химического определения в процессе анализа их называют легкогидролизуемыми углеводами. Конечные продукты распада легкогидролизуемых углеводов – моносахариды. Моносахариды делят на две подгруппы в зависимости от числа атомов углерода в молекуле: пентозы ($C_5H_{10}O_5$) и гексозы ($C_6H_{12}O_6$). К пентозам относятся арабиноза, ксилоза, рибоза; к гексозам – глюкоза, галактоза, манноза, фруктоза.

В углеводном обмене животных, в том числе и рыб, главенствующая роль принадлежит глюкозе. В итоге все сахара, поступающие в организм из пищеварительного тракта, в печени превращаются в глюкозу или частично откладываются в ней и других тканях в виде ее производного – гликогена.

Среди растительных легкогидролизуемых углеводов наибольшее пищевое значение имеет полисахарид крахмал.

Крахмал $(C_6H_{10}O_5)_n$ служит запасным питательным веществом растений, где находится в виде зерен, различных по форме, величине, химическому составу и пищевым свойствам. Относится к сложным полисахаридам, соединенным α-глюкозидной связью, (так называемым α-глюканам). Состоит из одного мономера – глюкозы – и представлен двумя фракциями: амилозой (20–30%) и амилопектином. В амилозе все единицы глюкозы соединены α-1,4 связями. Она хорошо растворяется в воде и не образует клейстера. Амилопектин с трудом растворяется в горячей воде, способен клейстеризоваться. Достаточно "рыхлые" молекулы амилопектина тесно контактируют между собой и с молекулами амилозы. В результате в нативном (неизмененном) крахмале образуются кристаллические зерна. Существует две формы крахмала: α и β. При тепловой обработке преобладает α-форма, которая хорошо расщепляется ферментами и усваивается в организме животных; β-форма плохо доступна их действию и имеет низкие показатели переваримости. При нагревании β-форма переходит в α-форму, и наоборот. Этот процесс сильно влияет на питательные свойства крахмалов для всех животных.

Основным запасным полисахаридом животных является *гликоген* $(C_6H_{10}O_5)_n$, или "животный крахмал". Он представляет собой полиглюкозу (α-глюкан), сходную по структуре с амилопектином. Гликоген – высоко ценное питательное вещество, быстро расщепляемое пищеварительными ферментами до глюкозы и хорошо усваиваемое организмом рыб.

Ко второй группе трудногидролизуемых углеводов, или "пищевых волокон" по современной терминологии, относят соединения, входящие в состав клеточных оболочек растений и тканей животных и поддерживающих их структуру. К ним принадлежат сложные комплексы, содержащие целлюлозу растений, ее аналог у насекомых и ракообразных – хитин, различные поли- и гетеросахариды растительного и животного происхождения.

К важнейшим можно отнести *целлюлозу* или *клетчатку* $(C_6H_{10}O_5)_n$. Как органическое вещество на земле она имеет особенно важное значение, так как является структурной основой клеточных стенок растений. Эти стенки представляют собой сложную переплетенную решетку из целлюлозных микрофибрилл, окруженную аморфным межклеточным веществом. Его основными компонентами являются лигнин, гемицеллюлозы и пектиновые вещества. В молекуле целлюлозы остатки глюкозы связаны β-глюкозидными связями, поэтому она относится к β-глюканам, практически недоступным для пищеварительных ферментов.

Лигнин – соединение, родственное ароматическим аминокислотам, но не имеющее азота и механически связанное с целлюлозой. Он расположен между микрофибриллами и противодействует сжатию клеток.

Пектин – полисахарид, главный компонент которого – остатки Д-галактуроновой кислоты, соединенные α-1,4 связями. Проявляет коллоидные свойства. Имеет широкое распространение как компонент основного вещества клеточных стенок.

Гемицеллюлозы – это условная группа. Они относятся к гетерополисахаридам, состав которых определяется видом и сортом растений. В зависимости от преобладания в главной цепи моносахаридов, они разделяются на пентозаны и гексозаны. Важнейшие составные части пентозанов – ксиланы, арабаны и арабоксила-

ны, соединенные β-глюкозидными связями, которые плохо расщепляются амилолитическими ферментами. Пентозаны – это специфические некрахмалистые углеводы; по своей химической структуре они похожи на целлюлозу, но отличаются от нее высокой способностью связывать воду. Взаимодействуя с водой и пищеварительными соками, они образуют плохо переваримые высоковязкие субстанции, увеличивая объем и массу химуса. Полисахариды гексоз – маннаны, глюкоманнаны, галактаны и глюкуроновая кислота – расщепляются значительно легче.

Хитин. Полисахарид, по строению очень близкий к целлюлозе. Выполняет сходные функции у низших растений, грибов, а также членистоногих, образуя защитный панцирь. У насекомых, раков и крабов составляет 0,25–0,50% сухой массы. По распространению на земле занимает второе место после целлюлозы. Очень прочно связан с веществами не полисахаридной природы (главным образом с белками и неорганическими солями). Хитин нерастворим в обычных растворителях, кроме сильных кислот. Вследствие этого он плохо доступен для пищеварительных ферментов, за исключением хитиназы.

Гиалуроновая кислота – гетерополисахарид. Важная составная часть соединительных тканей животных, присутствует в синовиальной (межхрящевой) жидкости, придавая ей смазочные свойства и способность смягчать удары. Ее функциональная роль – связывать воду в интерстициальных (межклеточных) пространствах и удерживать клетки вместе в желеподобном матриксе.

Хондроитинсерная кислота (хондроитинсульфаты) – гелеобразные мукополисахариды, широко распространенные компоненты соединительной ткани, связывающие коллагеновые волокна. Это важная составная часть хрящевой и скелетной тканей, связывающая коллагеновые волокна. Характеризуется очень плохой переваримостью.

Из перечисленного выше следует, что питательная ценность трудногидролизуемых углеводов существенно ниже, чем легкогидролизуемых. Однако с современных позиций, они рассматриваются не столько как носители питательных веществ и заключенной в них энергии, сколько в качестве балластных веществ, необходимых для нормального хода пищеварения. Они придают объемность концентрированным кормам, способствуют лучшему контакту корма с пищеварительными ферментами, усиливают перистальтику кишечника и тем самым частично активизируют переваривание остальных питательных веществ.

Балластные вещества (в современной диетологии – "растительные волокна") служат субстратом для кишечных микроорганизмов, участвующих в симбионтном пищеварении. Эта микрофлора синтезирует основное количество витамина B_{12}, много витамина С, частично фолиевую кислоту (витамин B_C или B_9) и инозитол (витамин B_8), а также ферменты, разрушающие пентозаны (ксиланы, арабаны), целлюлозу и другие β-глюканы, пектиновые вещества и гемицеллюлозы.

В отношении оптимального уровня углеводов в комбикормах для различных объектов аквакультуры сведения противоречивы. На начальных этапах создания искусственных кормов для хищных лососевых считалось, что максимально допустимое содержание общих углеводов не должно превышать 20–25% (переваримых – 8–12%) [Phillips et al., 1948; Cowey, Luquet, 1983]. Это объяснялось недостаточной способностью поджелудочной железы форели адаптироваться к колебанию содержания углеводов в пище путем изменения секреции инсулина, с одной стороны, а с другой, – отсутствием фермента глюкокиназы в печени. Следствие этого – отсутствие способности регулировать уровень глюкозы в крови, что напоминает диабет у плотоядных млекопитающих [Palmer, Ryman, 1972, Подоскина, 1996]. Кроме того, были выявлены такие особенности амилазы форели, которые замедляли гидролиз нативного (неизмененного) крахмала [Spannhof, Plantikow, 1983, цит. по Cowey, 1988]. Однако впоследствии эти особенности углеводного обмена не подтвердились. Гипотеза о неспособности поджелудочной железы форели адаптироваться к количеству углеводов в рационе была опровергнута [Hilton et al, 1983]. Была обнаружена и глюкокиназа, которая наряду с гексокиназой катализирует превращения углеводов в печени; выявлена прямая зависимость их активности от температуры. Было доказано, что способность

форели переваривать и усваивать полисахариды (в основном крахмал) зависит от степени разрушения зерен крахмала (клейстеризации) и его молекул (декстринизации). Крахмал, подвергнутый сильной декстринизации, хорошо переваривается всеми видами рыб.

К концу 80-х годов XX в. было установлено, что достаточно высокие уровни усвояемых углеводов не оказывают отрицательного влияния на рост, отложение белка и гепатосоматический индекс форели при температуре 18°С [цит. по Kaushik, 1990]. В конце 90-х годов для форели и других лососевых был обоснован предельно допустимый уровень легкодоступных углеводов – 30% (или 400 мг/100 г форели в сутки) [Подоскина, 1996]. Обязательное условие – наличие крахмальных зерен в разрушенной форме, которое достигается технологической обработкой сырья. Показано, что при 50%-ном содержании белка в корме количество пшеницы может достигать 37%, кукурузы, ячменя, овса – 43%. Переносимые уровни растительных волокон, в частности клетчатки, – до 10% [Hilton et al., 1983; Poston, 1986, цит. по Kaushik, 1990].

У теплолюбивых рыб хорошо переносимый уровень углеводов в рационах выше приблизительно в 1,5–2 раза. Объясняется это прямой зависимостью от температуры как активности пищеварительных амилаз, так и тканевых ферментов, катализирующих превращения углеводов в организме [Щербина, Казлаускене, 1971; Dixon, Hilton, 1985].

Оптимальное количество углеводов в комбикормах для прудового карпа составляет 40–50% [Щербина и др., 1992]. Однако при хорошем развитии в прудах естественной пищи карпы могут эффективно использовать в качестве объемной части рациона высокоуглеводистые и низкобелковые (протеин – 17–19%), но сбалансированные по аминокислотам комбикорма, а также зерна злаков, содержание углеводов в которых достигает 70–80%. Эта эволюционно обусловленная способность карпа и других растительно- и всеядных рыб хорошо утилизировать углеводы дает возможность применять при их выращивании низкобелковые и высокоуглеводистые корма, что является одним из главных преимуществ прудового рыбоводства.

Для карпов, выращиваемых в условиях индустриальных тепловодных хозяйств, хорошие рыбоводно-биологические результаты получены при следующих уровнях общих углеводов в растительно-животных комбикормах: 29–37% для сеголеток массой 1–150 г, 34–43% для рыб массой от 150 г до 1 кг [Тимошина, 1976; Остроумова, 1978 и др.]. Для других теплолюбивых объектов аквакультуры, таких как канальный сом, тиляпия, угорь, эффективный уровень углеводов колеблется в пределах от 38 до 46% [Shiay,1997; Garcia-Gallego et al.,1993].

1.4. Минеральные элементы

Рациональное кормление рыб должно удовлетворять их потребности как в органических, так и в минеральных веществах, ибо только в этих условиях могут быть обеспечены нормальный рост и развитие организма ("мясо нарастает на костях"). Минеральные вещества выполняют структурную функцию, входя в состав опорных элементов скелета и клеточных оболочек всех тканей. В составе различных соединений они участвуют в процессах переваривания и всасывания, синтеза и распада, обеззараживания ядовитых веществ и выделения. Минералы играют важную роль в поддержании коллоидного состояния белков и кислотно-щелочного равновесия тканевых жидкостей, обеспечивают осмотическое давление и постоянство других физико-химических свойств внутренней среды организма. Находясь в составе биологически активных соединений (ферментов, витаминов, гормонов), минеральные вещества могут в значительной степени активизировать или тормозить обмен веществ.

По количественному содержанию в животных и растительных тканях они делятся на макро- и микроэлементы. К макроэлементам относят кальций, фосфор, магний, калий, натрий, хлор, серу. Их количество в организме рыб колеблется в

широких пределах, составляя более 100 мг/кг. К микроэлементам относят железо, медь, марганец, цинк, кобальт, селен и другие (содержание в пределах 0,01–90 мг/кг).

В среднем общая сумма минеральных элементов в теле рыб составляет 2,5–8,0%, причем на долю макроэлементов приходится более 99,5%.

Особенностью минерального питания рыб является наличие двух путей поступления минералов в организм рыб: с пищей через рот и посредством осмотического проникновения из воды через жабры и покровные ткани.

Доказано [Карзинкин, 1962; Шеханова, 1956], что рыбы способны активно сорбировать из воды кальций, магний, натрий, калий, фосфор, серу, хлор и другие элементы. Поэтому потребность рыб в минеральных веществах, содержащихся в воде в высоких концентрациях, может удовлетворяться в значительной мере или полностью (например, в кальции и магнии) осмотическим путем. В зависимости от того, в какой воде ведется выращивание рыб (пресной или солоноватой, мягкой или жесткой), они вынуждены постоянно либо восполнять недостаток определенных минеральных веществ, либо экскретировать их избыток. Качественный и количественный состав минеральных солей в различных водоемах неодинаков, что обусловливает разную степень их абсорбции из воды и различия в требованиях организма рыб к минеральному составу кормов. Следовательно, солевой состав воды может существенно влиять на минеральный обмен у рыб. Элементы, концентрация которых в воде обычно невелика, должны поступать в организм с пищей. Обычно к ним относят фосфор, цинк, иод, марганец, кобальт, селен и др.

Помимо воды, источником минералов для рыб служат комбикорм и естественная пища.

В связи с особенностями компонентного состава комбикормов для прудовых карповых рыб (злаковые, жмыхи и шроты масличных культур, кормовые дрожжи и незначительные количества рыбной или мясокостной муки), они бедны минеральными элементами. Кроме того, минеральные вещества ряда сырьевых компонентов могут находиться в форме, которая плохо доступна пищеварительным ферментам безжелудочных рыб (например, фосфор рыбной муки в виде гидроксиапатита или фосфор злаковых в соединении с фитиновой кислотой, а также фитаты железа, цинка, марганца). Комбикорма для форели и других видов рыб, содержащие значительно большее количество рыбной муки и другого животного сырья, более богаты минералами. Однако и у этих рыб, несмотря на присутствие в желудках соляной кислоты, значительная часть фитатов многих элементов, а также гидроксиапатиты костной ткани, перевариваются недостаточно хорошо.

Естественная пища (в частности, планктон, бентос, насекомые, подводная растительность, рыбы) содержит все необходимые элементы в физиологически согласованных соотношениях в соответствии с солевым составом воды, и поэтому она является важным дополнением, нивелирующим недостатки минеральной части комбикормов.

Ограниченное или избыточное поступление минеральных веществ в организм рыб, обусловленное особенностями состава комбикормов, может привести к снижению аппетита, возникновению патологических изменений (особенно на ранних стадиях развития) и торможению роста. Например, при недостаточности в рационе фосфора, магния, марганца, цинка, кобальта в совокупности или хотя бы одного из этих элементов развивается остеодистрофия, которая проявляется в различных искривлениях позвоночника, деформации лобных и челюстных костей, ротового аппарата, редукции жаберных крышек, искривлениях ребер и в ряде других патологий, в частности, в жировом обмене. Все эти изменения тормозят рост рыб и снижают их продуктивность.

Количественные потребности рыб в минеральных элементах в связи с особенностями их поступления в организм изучены недостаточно полно (табл. 10). Как правило, их определяли на молоди в сериях специальных экспериментов при относительно постоянном составе воды.

Таблица 10. Обобщенные данные по потребностям рыб в минеральных элементах, мг элемента/кг корма

Элемент	Японский угорь	Радужная форель	Чавыча	Атлантические лососи	Карп	Тиляпия	Канальный сом
Кальций*	2700 (1)	200 (26) 300–3000 (21)	–	300 (23)	300–3000 (23)	1700–7000 (21; 22)	300–4500 (26; 27)
Магний	400–700 (2, 23)	400–700 (4; 5; 23; 26)	–	–	400–700 (3; 23)	400–700 (23)	400–700 (14, 21–23)
Фосфор**	2900 (1)	6000–8000 (7; 24; 26)	–	6000 (8)	12000***–14000 (25; 29; 35) 6000–7000 (6)	4000–6000 (23)	3300–4500 (21; 23; 26)
Калий	–	–	60–120 (19)	–	1600 (23)	–	26 (23)
Железо	170 (2)	–	–	60 (26)–67 (31)	150–200 (23; 32)	–	30 (13; 23)
Цинк	–	15–30 (9; 23)	–	–	15–30 (10; 32)	30 (23, 30)	20 (15)
Медь	–	3 (11; 23)	–	5 (26)	3 (11; 23)	–	5 (13), 18 (16)
Марганец	12 (11)	12–13 (11)	–	20 (26)	12–13–20 (11; 23; 32)	–	2–3 (17; 23)
Селен	–	0,2–0,4 (23) 1,25(20)	–	–	0,15–0,25 (34)	–	0,25 (26)
Кобальт	–	0,05 (23)	–	–	0,1–1,2 (10; 26)	–	–
Йод	–	0,6–2,8 (23)	0,6–1,1 (26)	–	1,6 (28)	–	–

*Максимальные значения в воде, свободной от Са.

**Доступный фосфор.

***Для молоди.

Примечания: 1. Прочерк означает отсутствие данных.

2. Источники (даны в скобках): 1 – Arai et al., 1974; 2 – Nose, Arai, 1979; 3 – Ogino, Chiou, 1976; 4 – Ogino, Takeda, 1978; 5 – Knox et al., 1984; 6 – Ogino, Takeda, 1976; 7 – Ogino, Takeda, 1978; 8 – Ketola, 1975; 9 – Ogino, Yang, 1978; 10 – Ogino, Yang, 1979; 11 – Ogino, Yang, 1980; 12 – Sakamoto, Yone, 1978; 13 – Gatlin, Wilson, 1986; 14 – Gatlin et al., 1982; 15 – Gatlin, Wilson, 1983; 16 – Murai et al., 1981; 17 – Gatlin, Wilson, 1984; 18 – Smith, 1988 (цитата по Jauncey, 1995); 19 – Shearer, 1988; 20 – Hilton et al., 1980; 21 – Wilson et al., 1982; 22 – Robinson et al., 1986; 23 – Jauncey, 1995; 24 – Neji, Naimi et al., 1993; 25 – Ogino et al., 1979; 26 – Lall, 1989; 27 – Robinson et al., 1984; 28 – Дума, 1987; 29 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1999; 30 – Eid, Ghonhim, 1994; 31 – Maage, Iueshman, 1995 (цитата по Мирзоевой, 1996); 32 – Watanabe, 1984; 33 – Ogino, 1979; 34 – Bell et. al., 1986; 35 – Takeuchi, Nakazoe, 1981.

Отдельные соли и их смеси вводили в экспериментальный корм одного состава, достаточно полноценный по всем остальным питательным веществам. Потребность оценивали как минимальное количество элемента, обеспечивающее быстрый рост молоди рыб и нормальное содержание элемента в скелете, печени и мышцах.

Однако чувствительность рыб к содержанию макро- и микроэлементов в комбикормах в реальных ситуациях иная. Она определяется комплексом факторов: концентрацией и соотношением солей в воде, качественным и количественным соотношением компонентов в комбикорме, формой солей, в которых они находятся в кормах, доступностью их для организма. Немаловажное значение имеет также степень обеспеченности рациона другими питательными веществами (белками, жирами, углеводами), необходимыми для нормального обмена веществ. Кроме того, потребность в минеральных элементах зависит от температуры. При ее повышении активизируются обменные процессы и возникают условия для ускорения роста рыб, поэтому требования организма к минеральному составу корма возрастают, а в случае их недостаточного удовлетворения быстрее проявляются патологические изменения. Признаки недостаточности отдельных минеральных веществ приведены в табл. 11.

Ознакомимся более подробно со значением и ролью в организме рыб основных минералов.

Кальций по количественному содержанию в теле рыб занимает первое место. Он концентрируется в костях скелета (около 80%), чешуе (~ 12%) в мелких костях (~ 4–5%) и отолитах (3–4%); в мягких тканях его содержится около 1–2% [Ichii, Mugiya, 1983].

В организм рыб кальций может поступать как из воды, так и из пищи, при этом доминирует первый, осмотический, путь. Причем 90% осмотического кальция проникает через жабры, остальное – через кожу, плавники и ротовой эпителий.

Кальций является главным элементом минерального вещества кости и обеспечивает ее прочность. Он участвует в процессах регуляции проницаемости клеточных мембран, проведении нервного импульса, сокращения мышц и свертывания крови. Играет активную роль во множестве других биохимических реакций, происходящих в организме. Потребность в кальции зависит от вида, возраста и массы рыб. Молодь нуждается в большем количестве кальция, чем рыбы старших возрастных групп. Максимальная потребность в нем отмечена в период окостенения скелета и развития чешуи (например, у молоди карпа массой около 100 мг). Экспериментально определенная потребность в пищевом кальции колеблется в широких пределах, что зависит от его концентрации в воде. Для карпа и радужной форели это составляет 0,3–3,0 г/кг корма, тиляпии – 1,7–7,0 г/кг (максимум – при минимуме в воде). В опытах с радиоактивными изотопами установлено, что при содержании кальция в воде, равном 30 мг/л потребность в нем полностью может удовлетворяться осмотическим путем [Карзинкин, 1962]. При этом чем больше кальция растворено в воде, тем выше возможность его поступлении путем осмоса. Поэтому необходимость в пищевом кальции для удовлетворения потребности возникает при низкой концентрации его в воде, что имеет место в хозяйствах со слабо минерализованным источником водоснабжения. В то же время следует иметь в виду, что избыток кальция в корме, как и его недостаток, способен привести к нарушению минерального обмена и, как следствие, к замедлению роста и снижению оплаты корма. Например, избыточное поступление кальция с кормом в организм карпа при одновременно высоком содержании его в воде приводит в экскреции этого элемента из организма через пищеварительную систему [Щербина, 1973; Казлаускене, Щербина, 1975]. Аналогичное явление наблюдалось и у канального сома при 2% Са в корме [Gatlin, Phillips, 1989].

Одной из распространенных минеральных добавок к комбикормам для прудового карпа является мел ($CaCO_3$), который вводится в количестве 1–2%. Однако эффективность этих добавок определяется содержанием кальция в воде. Его положительное влияние наблюдается только при концентрации до 40 мг Ca^{++}/л и

Таблица 11. Основные признаки недостаточности ряда минеральных элементов в питании различных видов рыб (1 – форель; 2 – американская палия; 3 – атлантический лосось; 4 – кета; 5 – чавыча; 6 – канальный сом; 7 – карп; 8 – японский угорь; 9 – красный тай; 10 – тиляпия золотая; 11 – тиляпия мозамбикская)

Элемент	Признаки дефицита	Источники
Фосфор	Торможение роста (1, 3, 6, 7, 8, 9), нарушение минерализации костной ткани (снижение зольности), недоразвитие костей головы (1, 3, 6, 7, 9), увеличение пористости позвонков (9), деформация и искривление позвоночника (7), повышенное отложение жира на внутренних органах и снижение синтеза белка (7), повышенная смертность личинок (7), снижение аппетита (7, 8), низкая переваримость (7) и эффективность использования комбикорма (1–7, 9)	Ogino, Yang, 1979; Lall, 1989; Watanabe, 1995; Щербина и др., 1999
Магний	Снижение аппетита и угнетение роста (1, 6, 7, 8), деформация скелета (1) и его искривление (1, 7), патологическое отложение кальция в позвоночнике (7) и выделительной системе (нефрокальциноз (1)), снижение зольности костей (1) и концентрация магния в костях (1, 6, 7), катаракта (1, 7), дегенерация мышечных волокон и эпителия пилорических придатков и жаберных лепестков (1), конвульсии (7), летаргия (1, 6, 7), повышенная смертность (1, 6, 7)	Lall, 1989; Watanabe, 1995
Железо	Замедленный рост и снижение эффективности использования корма (6, 7), железодефицитная гипохромная анемия (2, 7, 8, 9), снижение гемоглобина и гематокрита (1, 3, 6), пониженный уровень железа в плазме крови (6)	Lall, 1989
Цинк	Потеря аппетита, торможение роста (1, 6, 7), пониженное содержание кальция и цинка в костях и сыворотке крови (6), снижение жирности (7), карликовая короткотелость (1, 7), катаракта (1, 7), воспаление и эррозия плавников и кожи (1, 7), у личинок появление белой каймы на плавниках и побледнение кожи (7), высокая смертность (1, 7)	Ogino, 1979; Lall, 1989; Watanabe, 1995
Марганец	Неправильное развитие скелета (7), снижение содержания марганца в костях (2, 3), укорочение тела (1, 7), уродства (7), нарушение структуры хвостового плавника (2, 7), жировое перерождение печени (7), катаракта (1, 7), нарушение координации движений (11), снижение аппетита (7), торможение роста (1, 7, 11), увеличение смертности (3, 7, 11), пониженный % выклева из икры (1, 2, 3)	Ogino, 1979; Satoh et al, 1983; Lall, 1989; Watanabe, 1995
Медь	Снижение темпа роста (7), развитие катаракты (7), в печени высокая активность цитохром-С-оксидазы (3, 6) и низкая – медно-цинковой супероксиддисмутазы (3)	Lall, 1989
Йод	Гиперплазия щитовидной железы (1, 2, 5)	Lall, 1989
Селен	Угнетение роста (6, 7), анемия, снижение гематокрита, повышение белка в плазме крови (7), мышечная дистрофия (3, 7), патологические изменения в гепатоцитах и клетках спинного мозга (7), желтый цвет печени и кишечного химуса (7), повышенное содержание в теле жира и воды (1, 7), эксудативный диатез (1), снижение активности глютатионпероксидазы (1, 3, 6, 7)	Bell et al, 1986; Lall, 1989; Watanabe, 1995
Кобальт	B_{12}-дефицитная гиперхромная микроцитарная анемия (1, 7), замедление роста, повышение смертности (7)	Ogino, 1979; Watanabe,1995

Примечание. При составлении таблицы были использованы материалы обзора Л.М. Мирзоевой [1996]

жесткости воды, не превышающей 10 нем. град. При концентрации более 50 мг/л для сеголеток и 40 мг/л для двухлеток и трехлеток карпа присутствие мела в комбикормах вследствие нарушения деятельности пищеварительной системы и обмена веществ приводит к замедлению роста, уменьшению накопления питательных веществ в теле рыб и повышению кормовых коэффициентов. При более высоких концентрациях кальция в воде добавки мела вызывают резкое торможение роста рыб [Казлаускене, Щербина, 1973а]. Сходное действие на карпа оказывал уровень кальция 0,5–2,0%, создаваемый смесью солей $CaCO_3$ и $CaCl_2 \cdot H_2O$. У канального сома при концентрации кальция в воде 100 мг/л от-

мечалось [Gatlin, Scarpa, 1993] торможение роста и снижение эффективности кормления. В то же время исследования на форели, выполнявшиеся при рециркуляционном водообеспечении, показали, что независимо от концентрации кальция в воде его содержание в корме 2–3 г/ кг оказывает ростостимулирующее действие [Сергеева, 1989].

Большое влияние на усвоение кальция и рост рыб оказывают обеспеченность корма витамином Д, а также соотношение поступающих в организм кальция и фосфора. У различных видов рыб это соотношение достаточно вариабельно (от 1:1 до 1:2), в частности, для карпа оно составляет 1:1 [Hilton, 1978, цит. по Kaushik, 1990]. Для большинства других видов оно приближается 1:2 (например, содержание кальция в корме – 0,34%, фосфора – 0,68%). При этом фосфор должен находиться в доступной для организма рыб форме, что будет обсуждаться ниже. При недостатке кальция в корме и достаточном содержании в нем фосфора возникающий дефицит кальция может полностью компенсироваться за счет его осмотического поступления из воды.

Фосфор в теле культивируемых рыб обычно содержится в количестве от 0,7 до 1,2%. Причем около 80% находится в скелете, так как вместе с кальцием он входит в минеральный остов кости (кристаллы гидроксиапатита – $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). Остальное количество фосфора распределяется в мягких тканях и входит в состав разнообразных органических соединений (нуклеопротеидов, ферментов, коферментов, АТФ, АДФ, фосфолипидов и т.д.). Вместе с ними он участвует в процессах переваривания и всасывания питательных веществ, биологического окисления, гормональной регуляции, обеспечивает буферные свойства крови. Являясь одним из составных элементов нуклеиновых кислот, он принимает участие в передаче наследственной информации. Фосфор фосфолипидов служит важным компонентом всех клеточных мембран, отделяющих внутреннее содержимое клеток и их органелл от окружающей среды.

Признаки недостаточности фосфора у рыб проявляются в разной мере. У рыб старших возрастных групп наблюдается снижение аппетита, уменьшение переваримости и усвоения корма, в частности белка, угнетение роста, торможение синтеза белка при одновременном ожирении [Ogino, Takeda, 1976; Ogino et al., 1979]. У двухлеток карпа при сверхвысокой плотности посадки в прудах (10–30 тыс. экз/га) и практическом отсутствии естественной пищи нередко отмечаются искривление позвоночника и снижение продуктивного действия корма. Иногда наблюдается недоразвитие костей и бледность внутренних органов [Nose, Arai, 1979]. У личинок и молоди недостаток фосфора тормозит развитие, приводит к искривлениям позвоночника (лордозу, кифозу), возникновению деформаций черепа, среди которых наиболее заметно изменение лобной кости. Наблюдаются нарушение кальцификации ребер, накопление в теле жира, снижение содержания воды и минеральных элементов. Сеголетки карпов, выросшие на комбикормах, дефицитных по фосфору, в условиях высокой плотности посадки (45–60 тыс. экз/га) и слабой обеспеченности естественной пищей при зимнем голодании менее жизнеспособны и несут большие энергетические потери, даже если достигли стандартной массы тела и высокой жирности. Особенно большой урон недостаток фосфора в комбикормах наносит в индустриальных хозяйствах с рециркуляционной системой водоснабжения, при которой отмечается повышенное содержание кальция в результате избирательного питания микрофлоры биофильтров.

Потребности в фосфоре, так же как и в других элементах, зависят от возраста, физиологического состояния рыб, температуры среды и состава комбикорма. Они максимальны у личинок и молоди в период окостенения скелета (при массе 0,1–1,0 г). В случае питания рыб кормами с высоким содержанием белка (45–35%) потребность в фосфоре выше, чем с низким – 26–20%. Доступность фосфора, содержащегося в различных видах сырья, и минеральных солей для организма желудочных и безжелудочных рыб неодинакова (см. раздел 2.4.4.). Поэтому в последнее время потребность организма рыб в этом элементе выражается с учетом показателя его доступности, характеризующего способность пищеваритель-

ной системы извлекать фосфор из различных кормов и минеральных добавок к ним. Например, для быстрорастущих личинок и молоди карпа массой до 12 г, количество доступного фосфора в корме должно быть не менее 12–14 г/кг, для рыб растущих медленнее, а также для холодноводной форели – около 7–8 г/кг, лосося – 6 г/кг; для карпа старших возрастов, форели, тиляпии, канального сомика достаточно 6–4 г/кг [Ogino, Takeda, 1976; Takeuchi, Nakazoe,1981; Nakamura,1982; Tacon, De Silva, 1983; Щербина, Чяпулис, Гамыгин, 2000].

По данным И.А. Шехановой [1956], для всех видов рыб фосфор естественной пищи доступен хорошо – до 85%. В то же время фосфор рыбной муки, представленный в основном гидроксиапатитом костной ткани, личинками практически не усваивается. Его доступность для рыб старших возрастов также невелика – 10–25%.

Доступность фосфора стандартных комбикормов рецептов К-110, К-111 и К-112 для сеголеток и двухлеток прудового карпа составляет около 30–40%. В силу того, что эти комбикорма состоят в основном из растительного сырья, бедного фосфором, его дефицит может быть покрыт либо за счет обеспечения рыб естественной пищей, либо за счет дополнительного введения в комбикорма легкодоступных фосфорных солей. С этой целью применяют различные минеральные фосфаты. Для карпов старших возрастов хороший эффект дает применение 1–3% диаммоний- и дикальцийфосфата. Содержание общего фосфора в дикальцийфосфате составляет 228 г/кг, доступного – 105 г/кг. Введение его в комбикорм дает повышение прироста рыб на 20–40% при сокращении затрат кормов. Добавки трикальцийфосфата (около 200 г/кг общего и 26 г/кг доступного фосфора) не желательны, так как чаще всего они дают отрицательный эффект, создавая в корме нежелательный избыток кальция. Они могут оказывать благоприятное влияние только при низком содержании кальция в воде (менее 30 мг/л) [Щербина, Гамыгин, Чяпулис, 2000]. В случае выращивания личинок с использованием стартовых комбикормов "Эквизо" и РКС хорошее действие оказывают такие добавки, как однозамещенные фосфаты калия, натрия и кальция или их смеси, являющиеся хорошо доступными для рыб источниками фосфора (усвояемость более 90%). Их вводят в количестве 1–3%. Это ускоряет рост личинок (на 20–50%), существенно повышает их выживаемость (в 1,3–2,0 раза) и эффективность использования комбикормов. Причем этот эффект проявляется тем сильнее, чем выше температура, при которой идет выращивание личинок, и чем интенсивнее рост [Аршавский, 1987].

В НТЦ "Аквакорм" был апробирован специальный премикс к стартовым комбикормам для личинок карпа, предупреждающий развитие скелетных аномалий. Его состав на 100 г корма: KH_2PO_4 – 3 г (680 мг P), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 88 мг (20 мг Zn), $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ – 36 мг (10 мг Mn), витамин С – 500 мг (или в виде полифосфата – 150 мг). Рыбоводный эффект применения комбикорма РКС-3М, обогащенного этим премиксом, при выращивании личинок карпа в проточных и рециркуляционных установках выражался в следующем: по сравнению с контролем были отмечены снижение скелетных уродств с 70–60 до 20–14%, увеличение выживаемости личинок в 2,0–2,6 раза; ускорение темпа роста рыб в 1,5–2,5 раза; повышение выхода продукции, снижение затрат корма на прирост в 1,5–2,0 раза [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1992].

Добавки в комбикорма моно- и дифосфатов калия, натрия, аммония в количестве 1–3% оказывают благотворное влияние и на молодь карпов (массой 1–10 г и более). В специальных 30-суточных экспериментах НТЦ "Аквакорм" было показано, что оно выражается в сокращении общей потребности в пище на 16–32% и одновременном увеличении потребления рыбами доступного фосфора с 16 до 74 мг на 100 г массы рыб. При этом обнаружено увеличение общей переваримости корма на 3–15% в основном за счет повышения абсорбции белка (до 13%) и минералов (на 150–200%). Кормовые коэффициенты снижались на 19–39%. За счет активизации метаболизма происходило ускорение роста рыб на 20–50%. Максимальный эффект оказала добавка в корм монокалий фосфата (KH_2PO_4) в дозе 3% [Щербина, Гамыгин, Чапулис, 2000].

На рис. 2 представлена зависимость между ростом молоди карпа, выраженным коэффициентом массонакопления, и среднесуточным потреблением доступного фосфора.

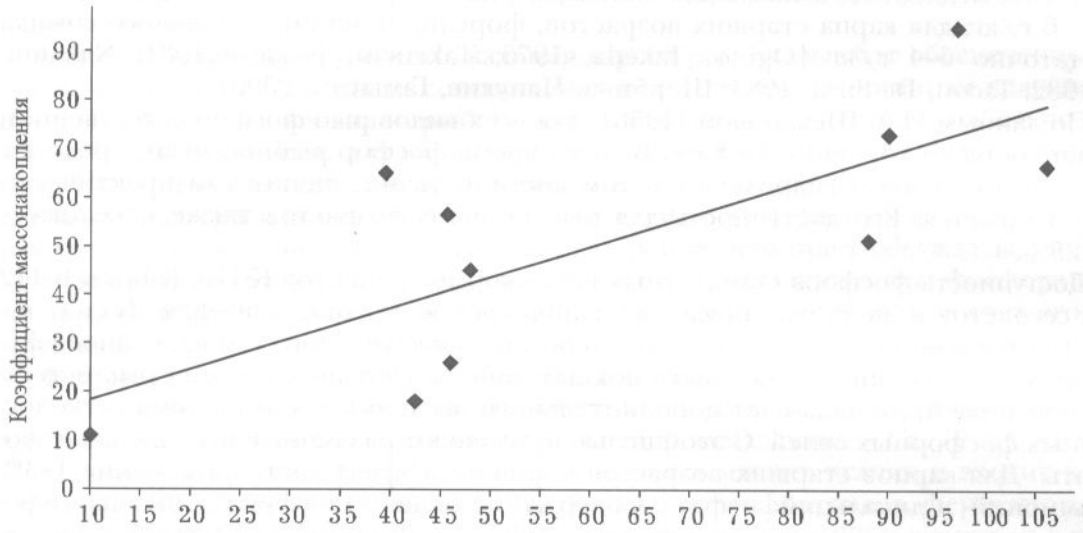


Рис. 2. Связь между среднесуточным потреблением доступного фосфора ($Р_д$) и ростом молоди карпа (по коэффициенту массонакопления, $К_m$) [Щербина, Чяпулис, Гамыгин, 2000]

$$К_m = [3 (W_t^{1/3} - W_0^{1/3})/t] \cdot 100\ \%,$$

где W_0, W_t – масса рыб в начале и конце экспериментов, t – период экспериментов; $Р_д$ – количество доступного фосфора, мг/ 100 г массы рыб в сутки

Исходя из этого, при наличии ассортимента рецептур стартовых комбикормов для личинок и возможности выбора следует отдавать предпочтение тем рецептам, которые содержат фосфорные добавки, несмотря на их более высокую стоимость. В равной степени это относится и к комбикормам для сеголеток и старших возрастных групп карпа, особенно если планируется выращивание в индустриальных условиях или в прудах при уплотненной посадке.

Для рыб, имеющих желудок и солянокислое пищеварение, в частности форели и др. лососевых, фосфор рыбной муки доступен значительно лучше. Однако фосфор фитатов усваивается ими также плохо, как и безжелудочными. Поэтому этот тип комбикормов, как правило, также следует обогащать фосфатами.

Магний входит в состав тела рыб приблизительно в количестве 0,3%. Более половины магния сосредоточено в костной ткани, где он в совокупности с кальцием и фосфором (в виде фосфорнокислого магния) образует минеральный остов скелета и его присутствие повышает прочность костной ткани. Около 40% магния распределено в мягких тканях. Здесь он активизирует некоторые ферменты окислительного фосфорилирования и цикла Кребса и является составной частью ряда ферментов. Кроме того, магний играет важную роль в обмене нуклеиновых кислот, обеспечивает функционирование нервно-мышечного аппарата, участвует в осморегуляции.

Значительная часть магния поступает в организм рыб осмотическим путем, однако при концентрации его в пресной воде менее 5 мг/л рыбы должны получать его с кормом. Количество магния, необходимого для нормального развития и быстрого роста различных видов рыб, определено в пределах 400–700 мг/кг корма. Для молоди карпа массой до 100 мг максимальная потребность в магнии составляет 0,6–0,7 г/кг корма. До достижения массы 1 г в период формирования скелета она остается такой же. С возрастом потребность уменьшается: так при массе рыб от 1 до 10 г она составляет 0,3–0,4 г на 1 кг корма, при массе от 10 до 100 г и более – приблизительно 0,2 г/кг. С повышением температуры окружающей среды потребность в магнии возрастает. Избыточное количество в корме каль-

ция и фосфора увеличивает потребность организма рыб в магнии, что необходимо для нормального формирования скелета [Ogino, Chiou, 1976].

В растительных компонентах комбикормов магний может находиться в форме фитатов. В этом случае его доступность для рыб может колебаться в широких пределах (35–87% у форели [Sugiura et al., 1998]). Магний рыбной муки, содержащей много костей, доступен слабо – 26%, т.к. он находится в форме гидроксиапатитов. При малом содержании костей в муке его доступность возрастает до 60–64%. Резкий недостаток магния в корме приводит к симптомам, возникающим при дефиците многих других пищевых веществ: снижению аппетита и торможению роста рыб, а также к различным патологиям (см. табл. 11).

У прудовых рыб благодаря особенностям компонентного состава комбикормов и присутствию в их рационах естественной пищи недостаточность магния в комбикормах, сопровождающаяся патологией, может проявляться только в хозяйствах на слабоминерализованных водах и в период повышенных температур. В индустриальных хозяйствах она вполне вероятна. Для предотвращения патологий необходим контроль за содержанием магния в воде и соотношением в ней магния и кальция. Известно, что повышенное содержание в воде кальция при низком содержании магния препятствует проникновению последнего в организм. Оптимальное соотношение кальция и магния в воде 3,7:1,0 [Карзинкин, 1962].

Цинк относится к микроэлементам. Он сосредоточен в основном в костях, печени, жабрах. Много цинка в глазах и гонадах, что связано с его важной ролью в функционировании органов зрения и развитии половых продуктов. Цинк поступает в организм рыб как из корма, так и из воды. Высокое содержание цинка в воде (до 0,3 мг/л против ПДК 0,01 мг/л), часто вызванное загрязнением водоемов промышленными отходами, может оказывать токсическое воздействие на организм рыб. Патологическое накопление цинка в теле (например, в мышцах до 20–45 мг/кг против 1–6 мг в норме) приводит к торможению процессов, которые при малых концентрациях он обычно активирует (кроветворение, зрение, костеобразование, размножение, развитие, рост).

Потребность в пищевом цинке для карпа, форели, канального сомика и тилапии составляет 15–30 мг/кг. Недостаточность цинка в кормах выражается в потере аппетита, торможении роста, укорочении тела, снижении жирности, а также в повышении смертности (см. табл. 11). Специфическими признаками дефицита цинка в пище являются воспаление и эрозия плавников и кожи, а также снижение содержания цинка в костях. Последнее значительно раньше свидетельствует о дефиците цинка в корме, чем ослабление роста. У молоди при недостатке цинка в кормах может возникнуть А-гиповитаминоз, который не устраняется даже при избытке каротина. Наиболее остро эта недостаточность проявляется в индустриальных хозяйствах при подращивании личинок на стартовых комбикормах при температурах, обусловливающих высокий темп роста рыб. Это связано с очень слабой доступностью цинка, входящего в состав различных видов кормовой рыбной муки (в основном белой) с высоким содержанием золы (17–22%), где он находится в виде малорастворимых солей.

Кроме того, большинство других компонентов комбикормов, в частности злаковые и масличные культуры, имеют в своем составе фитиновую кислоту. Помимо фосфора, она связывает и цинк, делая его недоступным для лососевых, карповых, сомовых и других видов рыб, так же как и для организма моногастричных животных. К примеру, для канального сома при наличии в корме 0,5% фитатов требуется повышенное количество цинка – до 200 мг/кг корма (вместо 18–20 мг согласно табл. 10). Отрицательное влияние на доступность цинка, содержащегося в кормах для рыб, оказывают добавки в корм трикальцийфосфата.

У лососевых рыб дефициту цинка в кормах сопутствует развитие непаразитарной катаракты, которая представляет серьезную проблему для индустриальных хозяйств. Она характеризуется начальным помутнением хрусталика (с дальнейшим образованием язв на роговице) и глазного яблока. Опасность возникновения катаракты возрастает, когда рыбы получают корм с высоким со-

держанием белой рыбной муки или при введении минерального премикса из солей кальция, фосфора, натрия и калия. Для предотвращения катаракты у радужной форели в корм рекомендуется вводить соли цинка в количестве 15 мг на 1 кг корма. Для атлантического лосося рекомендуемые дозы выше – 12–42 мг/кг продукционного корма и 67 мг/кг стартового. У личинок карпа, помимо замедления роста и гибели, основные признаки дефицита цинка – появление белой каймы на плавниках и побледнение кожи. В этих случаях корма рекомендуется обогащать сернокислым цинком из расчета 20 мг на 1 кг корма. В связи с различиями в количестве рыбной муки, вводимой в корма для форели рекомендуются [Satoh et al., 1987] добавки $ZnSO_4$ или $Zn(NO_3)_2$ из расчета 40 мг на 1 кг рыбной муки.

Марганец принимает участие в окислительно-восстановительных процессах, тканевом дыхании, кальциево-фосфорном обмене, оказывая тем самым влияние на костеобразование и кроветворение, нормализует липидный обмен, препятствуя жировой дегенерации печени, влияет на воспроизводительную функцию. Он активизирует синтез белков, благодаря чему интенсифицируется рост рыб. Стимулирует синтез и депонирование аскорбиновой кислоты в тканях. Марганец оказывает благоприятное влияние на усвоение и расход витаминов А, Е, К и С, снижает потребность в витамине Е.

Марганец поступает в организм рыб в основном с пищей; его количество в корме должно составлять от 2–3 (канальный сомик) до 12–13 мг/кг (карп, форель, угорь). Степень доступности для организма рыб марганца, входящего в состав кормов различного происхождения, невелика. По наблюдениям Н.Т. Сергеевой [1987], радужная форель извлекала из корма РГМ-5В всего 12% марганца. Избыток в кормах кальция и фосфора, особенно в виде трикальцийфосфата или гидроксиапатита белой рыбной муки, угнетает всасывание марганца в пищеварительном тракте лососей.

Недостаточность марганца проявляется в неправильном развитии скелета и укорочении тела, или "карликовой короткотелости" карпа и форели, возникновении уродств, нарушении структуры и формы плавников (у форели – хвостового), жировом перерождении печени. Все это сопровождается снижением скорости роста рыб (карп, тиляпия, форель), увеличением смертности, снижением аппетита и эффективности кормления, низким выклевом лососевых из икры [Ogino, 1979; Satoh et al., 1983].

Дефицит марганца в корме проявляется главным образом в случае выращивания молоди рыб при отсутствии естественной пищи. Наиболее часто он возникает при заводском подращивании личинок и молоди на стартовых комбикормах, которые имеют в своем составе много рыбной муки, особенно белой. Входящий в ее состав марганец плохо доступен для рыб. В этих случаях рекомендуется его дополнительное введение в форме серно- или солянокислых солей в количестве 10–13 мг на 1 кг комбикорма.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) марганца для воды рыбохозяйственных водоемов составляет 0,01 мг/л.

Железо рыбы получают в основном с пищей, оно играет важную роль в процессах дыхания и биологического окисления, принимая участие в переносе электронов. Как правило, железо находится в организме в виде сложных форм, соединенных с белками (гемоглобин крови, миоглобин мышц, ферменты биологического окисления – цитохромоксидазы, трансферазы, каталазы, пероксидазы и т.д.). Недостаток железа в организме вызывает железодефицитное малокровие (микроцитарную гипохромную анемию). Она характеризуется пониженным содержанием железа в крови, снижением концентрации гемоглобина, числа эритроцитов, гематокрита (общего количества форменных элементов), повышением числа молодых эритроцитов. Результат – угнетение роста рыб, снижение эффективности использования комбикорма (см. табл. 11). Подобные явления наблюдались у форели, канальных сомов, желтохвоста, угря [Lall, 1979]. Развитие заболеваний может быть предотвращено добавлением в 1 кг корма 15–20 мг железа [Robinson, 1989]. В последнее время для коррекции алиментарных анемий у рыб

с успехом используется препарат ультрадисперсного железа в дозах от 0,1 до 0,5 мг/кг корма [Головина и др., 1998].

Избыток железа, создаваемый в корме присутствием больших количеств кровяной и перьевой муки, а также селезенки, может оказаться таким же нежелательным, как и недостаток. Оно катализирует образование гидроперекисей и пероксидов, способствуя перекисному окислению липидов. Введение железа в корм в виде сернокислой соли может способствовать активизации этих процессов, особенно при наличии больших количеств полиненасыщенных жирных кислот рыбьего жира и вызвать разрушение витамина С [Watanabe et al., 1997]. У атлантического лосося обнаружена связь между избытком железа в печени и гибелью рыб от фурункулеза [цит. по Мирзоевой, 1996].

Потребность рыб в железе колеблется в широком диапазоне – от 30 мг/кг корма у канального сома до 200–300 мг/кг у карпа и форели (см. табл. 10). Доступность железа для организма рыб зависит от формы его солей. ЕПо литературным данным, что двухвалентное железо абсорбируется значительно полнее трехвалентного [Lall, 1979]. Железо комбикормов слабо доступно для организма рыб, так как значительная часть его, также как и фосфора, цинка, марганца, входит в состав фитатов, труднорасщепляемых в кишечнике. Всасывание железа у рыб может тормозить также и присутствие в корме легкорастворимых солей фосфора [Sugiura et al., 1998].

Предельно допустимая концентрация (ПДК) железа для воды рыбохозяйственных водоемов 0,005 мг/л.

Содержание ***кобальта*** в организме рыб невелико – около 0,25–0,5 мг/кг. Он является частью молекулы витамина B_{12}, регулирующего образование красной крови, стимулирует синтез витаминов B_1 и B_2, предупреждая тем самым развитие анемии. Кроме того, кобальт участвует в синтезе белков, в частности гамма-глобулинов, обеспечивающих иммунитет. Он влияет на обмен азота нуклеиновых кислот и минеральных веществ, а также способствует накоплению в печени естественных антиоксидантов (витаминов Е, С) и витамина А.

Поступает кобальт в организм рыб с пищей и осмотически через жабры [Карзинкин, 1962]. Последний путь менее значим, т. к. большинство рыбоводных хозяйств расположено в биогеохимических провинциях, характеризующихся недостатком кобальта.

Дефицит кобальта в организме тормозит синтез гемоглобина, что может привести к возникновению анемии и снижению общей резистентности организма, повышению смертности при одновременном замедлении роста рыб (см. табл. 11). Поэтому еще с середины XX века делались попытки удобрения кобальтом воды прудов с целью обогащения рационов рыб этим элементом через трофические цепи, а также введения его непосредственно в комбикорма [Суховерхов и др.,1961; Шабалина, 1964, 1968].

Экспериментально определенная потребность форели в кобальте составляет около 0,05 мг/кг корма, карпа – 0,1 мг/кг (см. табл. 10). Однако увеличение его содержания до 1,2 мг/кг [Ogino, 1979] также может вызывать стимуляцию роста рыб. В отечественной практике [Суховерхов и др., 1961] было показано, что введение в корм для сеголеток прудового карпа хлористого кобальта из расчета 1–3 мг на 1 кг корма ускоряет их рост и обеспечивает повышение резистентности рыб. Последействие обогащения корма кобальтом выражалось в сокращении смертности молоди в зимний период и снижении трат организма при зимнем голодании. В то же время следует учитывать, что в этих случаях кобальт вносили в виде водных растворов в рассыпные комбикорма, которые замешивали в виде крутого теста, и поэтому он быстро экстрагировался и терялся в воде. Его фактическое количество, попадавшее в организм рыб, было во много раз меньше расчетного.

В комбикорма для лососевых его вводят в виде $CoSO_4$ в дозах 0,2–3,2 мг/кг, а иногда и более [Маликова, 1967, Watanabe et al., 1997]. В то же время избыток кобальта вызывает патологические изменения в крови, а также приводит к замедлению роста рыб [Шабалина, 1968].

Селен также относится к микроэлементам, обладающим высокой активностью. В больших количествах он крайне токсичен. Есть сведения, что при его содержании в корме 11–15 мг/кг у атлантического лосося и молоди радужной форели наблюдали понижение аппетита, торможение роста, отложение камней в почках, гибель рыб [Lovell, 1996]. Токсические свойства селена проявлялись у форели также при длительном питании кормами, содержащими его в количестве 3 мг/кг.

В микродозах селен оказывает благоприятное влияние на ход биологического окисления в организме, стабилизирует проницаемость клеточных мембран, принимает участие в обмене ряда аминокислот. В метаболизме он тесно связан с витамином Е, тормозящим окисление ненасыщенных жирных кислот, а в составе фермента глютатион-пероксидазы защищает клетки от повреждающего воздействия уже образовавшихся перекисей.

Селен поступает в организм рыб как с пищей, так и из воды, при этом пути его метаболизма различны. Поступая из воды через жабры, селен разносится кровью по всему организму (исключая печень) и находится в тканях в основном в неорганической форме; поступив в печень, переходит в органическую форму, и в случае его избытка может выводиться из организма.

Рыбы обладают выраженной способностью аккумулировать селен из воды и корма. Однако большинство территорий России дефицитны по селену. Его избыток в почвах и в воде обнаружен только в ряде биогеохимических провинций Южного Урала и Тувы, поэтому основной источник селена для рыб – пища.

Потребность радужной форели в селене колеблется в пределах от 0,15 до 1,25 мг/кг корма, карпа – 0,15–0,25 мг (см. табл. 10). Корма, содержащие около 2% и более рыбной муки, обычно удовлетворяют потребность рыб в селене.

Основными признаками недостаточности селена являются торможение темпа роста рыб, снижение активности глутатион-пероксидазы в плазме крови и печени. Возможны также снижение гематокрита, повышение содержания в теле жира и воды, патологические изменения в клетках печени и спинного мозга. У форели наблюдался геморрагический экссудативный диатез, обусловленный нарушением проницаемости клеточных оболочек и гемолизом эритроцитов. При значительном дефиците селена возрастает смертность рыб с признаками анемии, повышенного содержания протеина в плазме и другими патологиями (см. табл. 11).

Критерием обеспеченности рыб селеном является уровень в печени и сыворотки крови глутатион-пероксидазы. Этот фермент является главным средством защиты организма от накопления в клетках H_2O_2 и органических перекисей, образующихся в результате обменных реакций. Повреждающая функция H_2O_2 обусловлена ее способностью атаковать и разрушать двойные связи ненасыщенных жирных кислот фосфолипидов клеточных мембран. В итоге это приводит к нарушению структуры и функций клетки и ее органелл. Наиболее часто такому повреждающему влиянию подвергаются печеночные клетки (гепатоциты), что нередко служит основной причиной часто встречающейся патологии – жирового перерождения печени. Образующиеся гидроперекиси вызывают реакции, которые приводят к разрушению оболочек эритроцитов (гемолизу) и позже к развитию гемолитической анемии. Максимальная активность глютатион-пероксидазы в плазме крови форели отмечена при содержании селена в корме в количестве 0,15–0,38 мг/кг. Для поддержания эритроцитов в нормальном состоянии, помимо селена, требуется и витамин Е, также обладающий антиоксидантным действием. Например при содержании селена в корме 0,1 мг/кг, хороший рост лососей отмечался, когда количество витамина Е составляло 500 мг .

Низкий уровень витамина Е и наличие в корме полиненасыщенных жиров усиливают влияние дефицита селена. У атлантического лосося это может привести к возникновению болезни "Хитра", или "острой спины", симптомы которой сходны с признаками недостаточности витамина Е и селена. Это заболевание чаще всего встречается при высоких (около 10% и более) концентрациях рыбьего жира в кормах [Watanabe et al., 1997].

По данным Л.Н. Думы [1987], хороший эффект оказывает введение селена в количестве 0,1 мг/кг в комбикорм для сеголеток карпа, где рыбная мука полно-

стью заменена на кормовые дрожжи (паприн), дефицитные по микроэлементам (рецепт ВБС-РЖ-85). Присутствие селена снимает отрицательное влияние этой замены на обмен веществ, резистентность и рост рыб, улучшает физиологическое состояние молоди, повышает ее устойчивость к стрессам и выживаемость в зимний период, а также оказывает благоприятное действие на скорость роста рыб на втором году жизни. Введение в корм селенита натрия (Na_2Se_3) в количестве 8,6 мг/кг при выращивании в аквакультуре молоди кижуча улучшало ее физиологическое состояние по сравнению с состоянием диких форм.

Большое количество полиненасыщенных жирных кислот в кормах увеличивает потребность рыб в селене и витамине Е. Поэтому целесообразно вводить селен в комбикорма совместно с витамином Е, что позволяет предотвратить токсическое воздействие окисленных жиров на организм рыб.

Йод является составной частью гормонов щитовидной железы (тироксина и трийодтиронина) и тем самым принимает участие в регуляции обмена углеводов, белков и жиров. Он оказывает влияние на развитие и функционирование воспроизводительной системы и рост организма.

Источником йода для рыб являются вода и пища. Потребность рыб в этом элементе по данным Ватанабы с соавторами [T.Watanabe et al, 1997] колеблется от 1 до 4 мг/кг и зависит от концентрации его в воде.

Симптомы недостатка йода проявляются в торможении общего обмена веществ у рыб, что приводит к замедлению роста и снижению устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям. У лососевых более 100 лет назад наблюдали гипертрофию щитовидной железы; зоб уменьшался и рассасывался при введении в корм 0,6–1,1 мг/кг йода [Lall, 1989].

Морская вода, растения и животные, живущие в ней, богаты йодом, поэтому морские рыбы не испытывают его дефицита. В пресной воде его концентрация во много раз ниже, чем в морской, и обычно составляет 0,002–0,015 мг/л. Поэтому основное количество йода рыбы должны получать из пищи. Особенно жесткие требования к содержанию йода в корме рыбы предъявляют, если хозяйства располагаются в биогеохимических провинциях, дефицитных по этому элементу (северо-западные и центральные области России, частично Подмосковье, Карелия, многие районы Сибири, Армения, Западная Украина, районы Дальнего Востока и т.д.). В регионах, не испытывающих недостатка йода, потребности рыб удовлетворяются полностью, если в состав комбикормов входит около 7–16% рыбной муки.

Помимо белков рыбной муки, все животные белки, хотя и в меньших количествах, содержат йод. Много йода и в растительном сырье из благополучных по этому элементу провинций.

Благоприятный эффект, выражающийся в стимуляции роста рыб, вызывает введение в состав комбикорма йодистого калия в количестве 1,0–1,5 мг/кг или 2–5% муки из морских водорослей, особенно филлофоры, наиболее богатой йодом, а также обеспечение рыб достаточным количеством естественной пищи [Суховерхов, 1971; Дума, Щербина, 1988].

Медь относится к активным микроэлементам и регулирует многие реакции клеточного дыхания, являясь составной частью ферментов. Недостаток меди приводит к ухудшению работы сердца, мозга, печени, способствует развитию катаракты, угнетает рост. Потребности карпа и форели в меди составляют около 3 мг/кг корма, атлантического лосося – 5 мг/кг (см. табл. 10). У канальных сомов в аквакультуре дефицит меди вызывал пониженную активность в печени перекисной медно-цинковой дисмутазы и цитохром-С-оксидазы сердца. Введение в корм меди в количестве 5 мг/кг предотвращало угнетение ферментов и торможение роста.

Рыбы получают медь из воды и корма. Ее основным депо в организме является печень. По уровню концентрации меди в этом органе судят об обеспеченности рыб этим элементом.

В связи с загрязнением водоемов промышленными стоками содержание меди в воде рыбоводных хозяйств нередко превышает ПДК (0,001 мг/л) в несколько

десятков, а иногда и сотен раз (0,01–0,8 мг/л). Кроме того, в наиболее часто употребляемом кормовом сырье ее недостатка для рыб обычно не наблюдается. Скорее всего, беспокойство вызывает ее избыток. По данным И.Н. Остроумовой [2001], наличие меди в корме для теплолюбивого канального сома в количестве 16–32 мг/кг, привело к повышению ее уровня в печени и затормозило рост рыб. В то же время у тепловодного карпа, получавшего повышенные количества меди (30 мг/кг против 4) с высокопитательным гаприном, не отмечали заметных отклонений в росте и физиологическом состоянии за исключением пониженного содержания витамина А в печени. Известно, что медь является антагонистом витамина А и ускоряет процесс его окисления [Орлинский, 1984]. У холодолюбивой форели при повышении дозы меди в рационе до 500–600 мг/кг не обнаружено серьезных отклонений от нормального физиологического состояния даже при дозах свыше 730 мг/кг. Однако были отмечены некроз печени и почек, а также нарушение структуры жаберных лепестков.

По всей вероятности, высокая устойчивость организма рыб к избыточным количествам меди в корме частично связана с малой доступностью для рыб ее различных химических форм (22–32%, по Сергеевой [1989]) и низким содержанием в воде при проведении экспериментов. Влияние избытка меди проявляется еще сильнее при недостатке в корме естественных антиоксидантов (витаминов С, Е). В этом случае медь усиливает перекисное окисление докозапентаеновой и докозагексаеновой кислот. Это приводит к патологическим изменениям в клеточных мембранах и нарушению функций тканей, например, клеток печени и крови. В последнем случае происходит гемолиз эритроцитов [Kaushik, 1995; Kaushik, Cuzon, 1999].

В коммерческие корма медь вводят обычно в количестве 15–18 мг/кг из-за опасения негативного влияния высоких уровней цинка на абсорбцию меди.

Взаимодействие минералов между собой и с другими веществами. Сведения о взаимном влиянии пищевых минералов в организме рыб ограничены. Известно, что оптимальное соотношение между кальцием и фосфором достаточно вариабельно и находится в пределах 1:1 – 1:2. Наряду с ними в минеральный состав кости входит магний. Поэтому повышенное количество в корме кальция и фосфора увеличивает потребность в пищевом магнии, особенно в случае его низкого содержания в воде [Kaushik, 1990].

Марганец как участник кальциево-фосфорного обмена в процессе костеобразования используется в зависимости от содержания кальция и фосфора в корме: чем выше их содержание, тем больше потребность организма в марганце. Их избыток в форме гидроксиапатита и трикальцийфосфата угнетает всасывание марганца из рыбной муки и требует дополнительного его введения в корм.

Медь является физиологическим антагонистом цинка, и ее избыток в корме при ограниченном потреблении цинка может оказать токсическое действие. В этих условиях она отрицательно влияет на обмен полиненасыщенных жирных кислот и активизирует синтез олеиновой кислоты, которая, не включаясь в обменные процессы, откладывается в запасных липидах. Помимо цинка метаболическими антагонистами меди являются железо, молибден и кадмий.

Абсорбция цинка снижается в присутствии в кормах больших количеств белой рыбной муки (с содержанием золы 17–22%) и солей фитиновой кислоты (фитатов растительных компонентов), а также избыточного поступления с минеральными премиксами фосфора, кальция и меди.

Дефицит цинка тормозит синтез высоконенасыщенных жирных кислот из линолевой кислоты. При одновременном дефиците цинка и линолевой кислоты в теле рыб усиливается синтез олеиновой кислоты и образование ее метаболитов. Вследствие этого происходит дальнейшее торможение реакционной способности линолевой кислоты и далее – подавление синтеза простагландинов.

Дефицит селена в пище повышает потребность организма рыб в витамине Е.

Присутствие в корме микроэлементных премиксов, содержащих железо и медь, способствует разрушению витаминов А, Е и С.

При подборе минеральных элементов в премиксы большое значение имеет форма солей. Хлориды и сульфаты хорошо усваиваются в организме, однако благодаря своей гидрофильности способствуют разрушению витаминов и их вымыванию при попадании кормов в воду. Карбонатные формы и окислы не содержат в своем составе воды и практически нерастворимы, однако они плохо усваиваются в организме.

Рыбная мука как главный компонент комбикормов для многих объектов аквакультуры нуждается в обогащении солями марганца, меди, цинка, так как они находятся в плохо усвояемой форме [Watanabe et al., 1980, 1997]. То же относится и к фосфору, особенно для безжелудочных рыб [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1999]. Связь минеральных элементов с витаминами будет обсуждена в главе 2.

Ознакомление с представленной сводкой о физиологической роли ряда минеральных веществ, позволяет убедиться, что они играют важную роль в жизнедеятельности рыб. В естественных условиях все потребности в минеральных элементах восполняются водой и пищей. Естественная пища рыб: зоопланктон, зообентос, рыбное население и растительность – содержат минеральные вещества в физиологически благоприятных соотношениях и в форме, хорошо доступной для организма. Однако при выращивании рыб в прудовых хозяйствах в условиях высокоуплотненных посадок и в индустриальных хозяйствах, при полном отсутствии естественной пищи, возможны нарушения минерального обмена. С одной стороны, они могут быть обусловлены недостаточностью ряда элементов в почвах и воде, с другой – недостатком или избытком минеральных веществ в комбикормах, так как последние имеют несвойственный естественной пище рыб набор компонентов.

При установленном дефиците минеральных элементов существует два основных пути снабжения ими организма рыб: в виде добавок к комбикормам или в виде минеральных удобрений. Последние вносят в воду, и они поступают в организм либо осмотическим путем, либо через естественную пищу. В качестве удобрений наибольшее распространение нашли соли кобальта. В регионах, дефицитных по микроэлементам, воду прудов также удобряют солями марганца, бора, молибдена, йода. В то же время считается, что введение минеральных добавок в комбикорма является более экономичным, более быстрым и более эффективным путем.

1.5. Витамины

Витамины представляют собой группу пищевых органических веществ различного строения, которые обладают одним общим свойством – способностью катализировать (самостоятельно или в составе ферментов) биохимические реакции в организме. Не являясь источниками энергии или материалом для построения тканей и органов, они участвуют в регуляции обмена веществ. Поэтому недостаток витаминов неизбежно ведет к сбою обменных процессов, что отрицательно сказывается на развитии, росте, продуктивности и воспроизводстве животных.

При отсутствии витаминов в пище у животных развиваются авитаминозы. Обычно они вызываются крайне однообразным кормлением. Ограниченное содержание витаминов в кормах обусловливает скрытые формы недостаточности – гиповитаминозы, которые могут наносить большой ущерб рыбоводству, особенно в индустриальных хозяйствах и при уплотненных посадках рыб в прудах. Их следствием является повышение смертности рыб, снижение темпа их роста, ухудшение эффективности использования комбикормов, увеличение себестоимости продукции. В то же время добавка в комбикорма слишком больших доз ряда витаминов (в частности А, Д, Е) может также привести к серьезным заболеваниям – гипервитаминозам.

Классификация витаминов представляет определенные трудности, т.к. эта группа не является гомогенной ни химически, ни функционально. Поэтому для удобства витамины по признаку растворимости делят на водо- и жирорастворимые. Для их обозначения обычно используют буквы латинского алфавита. В то же время иногда применяются названия, основанные на химической природе ви-

таминов или их функциях, например цианкобаламин (B_{12}), токоферол (Е) или антирахитический (Д).

Активность витаминов обычно выражают двумя способами: в интернациональных (или международных) единицах, которые находятся под контролем экспертной комиссии ФАО ВОЗ; в миллиграммах (или микрограммах) на 100 г или 1 кг корма.

К водорастворимым витаминам относятся витамины группы В и витамин С. Их главное значение в жизнедеятельности животных – воздействие на промежуточный обмен. Большинство из них являются коэнзимами различных ферментов. Водорастворимые витамины не обладают способностью накапливаться в организме и могут откладываться в тканях в незначительных количествах. Поэтому основным их источником является пища. Дефицит этих витаминов в течение непродолжительного времени способен привести к уменьшению активности большого числа ферментных систем. Результат – снижение аппетита, торможение роста, ослабление общей устойчивости организма. Витамины группы В синтезируются главным образом растениями, бактериями, дрожжами. Особенно богаты ими кормовые дрожжи, в меньшей степени – отруби.

Жирорастворимые витамины (А, Д, Е, К) и их предшественники должны поступать в организм животных вместе с пищей. Они также имеют большое значение для жизнедеятельности организма, влияя на белковый, жировой и минеральный обмен. Витамин Е, также как и витамин С, выполняет функции антиокислителя. В отличие от водорастворимых жирорастворимые витамины способны накапливаться в организме: их основное депо – печень. Разрушаются эти витамины при наличии в корме окисленных жиров. Поэтому для их сохранности в продукты, содержащие высокий процент жира, вводят синтетические или естественные антиокислители.

Содержание витаминов в комбикормах зависит от состава входящих в них сырьевых компонентов. Компоненты, богатые витаминами, обычно называют витаминными концентратами (ВК). К ним можно отнести различные виды кормовых дрожжей, содержащие очень высокий уровень большинства витаминов группы В (за исключением B_{12}).

Часть витаминов, например А и Д, может синтезироваться в значительных количествах в организме животных из провитаминов (неактивных форм). Примером может служить синтез витамина А из каротина в организме карпа. Предшественниками витамина А являются и такие каротиноиды, как астаксантин, кантаксантин, зеаксантин, которые эффективны в кормлении лососевых рыб. Другие витамины, например витамин С и $Д_3$, инозит (B_8), синтезируются в ограниченных количествах, что не может удовлетворить потребности в них животных. Часть витаминов (B_2, B_9, B_{12}) может образовываться в результате деятельности кишечной микрофлоры и используется для нужд организма.

По современным данным, потребности в витаминах холодо- и теплолюбивых видов рыб несколько различаются между собой, но внутри групп достаточно близки (табл. 12).

За потребность в витамине принято минимальное его количество, обеспечивающее максимальный рост рыб и накопление витаминов в тканях при отсутствии признаков витаминной недостаточности. В таблицах приведены нормы без учета возможных потерь витаминов в процессе переработки и хранения сырья и комбикормов; в них также не приняты во внимание изменения потребностей рыб при смене условий среды.

В то же время потребность в витаминах у рыб, как и других животных, зависит от возраста и массы, планируемой скорости роста и уровня продуктивности, физиологического состояния, а также здоровья. Молодь, которая обладает высокой потенцией роста, нуждается в большем количестве витаминов, чем взрослые рыбы. Это относится и к кормлению рыб, от которых ожидается больший прирост. Потребность рыб в витаминах возрастает и при инфекционных или инвазионных заболеваниях. Большое влияние оказывают условия выращивания рыб. Например, при более высокой температуре воды (при которой обмен веществ

Таблица 12. Экспериментально определенные потребности рыб в витаминах, тыс. И.Е. и мг/кг корма

Витамин	Форель и лососи			Карп					Канальный сом		Тиляпия	Осетры
						Жирорастворимые						
А – ретинол, тыс. И.Е.	2,5[1]	2,5[2]	2,0[9]	10,0[3]	2,0[4]	2,0–4,0[5]	5,5[6]	1,0–2,0[9]	2,0[2]	1,0–2,0[4]	–	–
$Д_3$ – эргокальциферол, тыс. И.Е.	1,8	2,4	2,4	–	–	–	1,0	–	1,0	0,25–1,0	0,375[4]	–
Е – токоферол, мг/кг	30	30	50	300	100–300	100–300	50	80–300	30	30–75	10–100	–
$К_3$ – менадион, мг/кг	4	10	10	–	40	–	10	–	–	–	–	–
						Водорастворимые, мг/кг						
С – аскорбиновая к-та	100	100	10–50	–	0–2000	–	30–100	100	60	11–880	80–1250	–
$В_1$ – тиамин	10	10	6,5	–	до 60	0,5	20	2–3	1,0	1,0	2,5	10[8]
$В_2$ – рибофлавин	20	20	4,0	7,0	40,62,70	4–10	20	4 –5	9,0	9,0	5,0–6,0[11]	–
$В_3$ – пантотеновая к-та	40	40	12	50	30–40	30–50	50;14[7]	25–40	20	10	6–10[11]	–
$В_4$ – холин	3,0	3,0	3,0	4,0	2000–4000	4000	500; 1500–2000[7]	500–3000	400	400	0	–
$В_5$ – никотиновая к-та	150	150	10	30	28	28	100	30 –50	15	14	–	–
$В_6$ – пиридоксин	10	10	3,0	6,0	20	5,4	20;30–50[7]	4 –10	3,0	3,0	–	–
$В_7(Н_2)$ – биотин	1,0	1,0	0,15	1,0	10	1,0–2,5	0,1; 1,0–1,2[7]	1,0–1,5	1,0	1,0	–	–
$В_8$ – инозитол	400	400	–	440	440	440	100; 200–300[10]	200–440	0	0	–	–
$В_c$ ($В_9$, фолиевая к-та)	5,0	5,0	5,0	–	15,0	0	5,0	35	–	0,1–1,0	–	–
$В_{12}$ – цианкобламин	0,02	0,02	0,015	–	0,09	–	–	–	–	–	–	–

Источники информации: 1 – NRC, 1981; 2 – Halver J., 1982; 3 – NRC, 1983; 4 – Jauncey, 1982; 5 – Jauncey ,1995; 6 – Ketola, 1977; 7 – Щербина, Киселев, Касаткина, 1992; 8 – Бондаренко и др., 1995; 9 – Kaushik, Cuzon, 1999; 10 – Koenig, 1977; 11 – Soliman, Wilson, 1992 [цит. по Мирзоевой, 1993].

идет более интенсивно) потребность в витаминах выше, чем при низкой. В индустриальных хозяйствах при отсутствии в рационах рыб естественной пищи уровень витаминов в комбикормах должен быть существенно выше, чем при выращивании в прудах. Если в процессе выращивания рыбы часто подвергаются воздействию стрессирующих факторов, то для их лучшей адаптации к неблагоприятным условиям также следует увеличить ввод витаминов в комбикорма. Определенную информацию о возможных изменениях уровня витаминов в комбикормах в зависимости от различных условий дает табл. 13.

Таблица 13. Потребности лососевых рыб в витаминах и рекомендации по их увеличению в различных условиях [по Kaushik, 1990]

Витамины	Средняя потребность (I)	Потребность I+ 30% (II)	Потребность II + потери (III)	Потребность III + стресс (IV)	Максимальный уровень (V)
Жирорастворимые витамины					
А, И.Е./кг корма)	2500	3250	5375	8265	25000
Д, И.Е./кг корма	1800	2340	3042	5382	18000
Е, мг/кг корма	30	39	46	76	3000
К, мг/кг корма	4	5	6	10	4000
Водорастворимые витамины, мг/кг корма					
С (аскорбиновая к-та)	100	130	360	460	10000
B_1 (тиамин)	10	13	25	35	10000
B_2 (рибофлавин)	20	26	31	51	400
B_3 (пантотеновая к-та)	40	52	61	101	800
B_4 (холин)	3000	4000	4400	7400	12000
B_5 (ниацин, никотиновая к-та)	150	195	230	380	3000
B_6 (пиридоксин)	10	13	15	25	20000
B_7 (H_2, биотин)	1	1	1,4	2,4	100
B_8 (инозитол)	400	520	620	1010	–
B_C (B_9, фолиевая к-та)	5	7	9	14	–
B_{12} (цианкобламин)	0,02		0,03	0,05	–

Примечание. I – потребность по NRC (1981); II – учитывается средняя биологическая вариабельность около 30%; III – учитываются различные потери витаминов в процессе изготовления, поставки корма и хранения; IV – в стрессовых условиях предлагается увеличение на 100% по сравнению с потребностью II; V – максимально переносимые уровни у высших позвоночных, с превышением которых возникает гипервитаминоз. О гипервитаминозах у рыб известно мало (за исключением жирорастворимых витаминов).

Кроме того, потребность в витаминах зависит от соотношения основных питательных веществ в кормах и обеспеченности их макро- и микроэлементами. Например, для усвоения пищи с высоким содержанием углеводов рыбам требуется большее количество тиамина (витамина B_1), чем при питании низкоуглеводными диетами. Повышенный уровень жирорастворимых витаминов может тормозить всасывание других витаминов той же группы и, напротив, недостаток ряда витаминов группы В может компенсироваться более высоким уровнем других витаминов этой группы. При оптимальном поступлении в организм фосфора обеспечиваются благоприятные условия для более полного превращения каротина в витамин А и синтеза B_{12}. Марганец стимулирует синтез и депонирование аскорбиновой кислоты в тканях, снижает потребность организма в токоферолe, оказывает благоприятное влияние на усвоение и утилизацию в организме витаминов А, С, Е и К и так далее.

Немаловажную роль играет присутствие в кормах антивитаминов, резко увеличивающих потребность рыб в витаминах (например, тиаминазы, содержащейся в фарше из сырых пресноводных рыб). Наличие в кормах или премиксах естественных антиоксидантов (токоферолов) или их синтетических форм (сантохина, дилудина, ионола и др.) предотвращает образование продуктов перекисного окисления липидов, способных разрушать многие витамины.

Определенное влияние оказывает и технология изготовления комбикормов, особенно ее температурные параметры, так как ряд витаминов (С, А, Д) разрушается при температуре свыше 60 °С. Особенно нестоек витамин С. В процессе гранулирования кормов при обработке их паром он разрушается на 50–60%, а при экструзии – до 90%.

Большое значение имеют и условия хранения кормов. При нарушении правил хранения многие витамины (B_6, B_c, А, Д, Е, С) могут разрушаться под воздействием света и воздуха. Их разрушение происходит и под действием микрофлоры, которая усиленно развивается при увлажнении кормов. При хранении гранулированных комбикормов в обычных условиях аскорбиновая кислота полностью разрушается через 1,5–2,0 месяца, чем в основном определяется гарантированный срок хранения отечественных комбикормов – 2 месяца. Замена аскорбиновой кислоты в премиксах на аскорбил-фосфат резко тормозит распад витамина С, в результате чего сроки хранения комбикормов могут быть увеличены.

Сведения о номенклатуре витаминов, их физиологической роли в организме рыб, симптомах недостаточности, а также источниках, богатых теми или иными формами витаминов, приведены в табл. 14.

Гипо- и авитаминоз проявляются у рыб в основном при недостатке в их рационах естественной пищи, что можно рассматривать как следствие повышенной плотности посадки рыб в прудах или неполноценности комбикормов в условиях индустриальных хозяйств. В качестве пособия для выявления витаминной недостаточности у карпа предлагаем табл. 2 Приложения.

Гипервитаминоз наблюдался при избытке витамина А в питании личинок атлантического лосося при дозе 940 мг/кг корма. Он выражался в появлении признаков стресса, высокой смертности, аномальном росте позвоночника – "сдавленные" короткие позвонки [Rørnsrud et al., 2002]. У ложного палтуса при кормлении его науплиями артемии, которых инкубировали в культуральной среде с содержанием ретинол-пальмитата 8–10 мг/л, гипервитаминоз сопровождался деформацией тела, искривлением, слиянием и сжатием позвонков [Dedi, 1995]. Основная причина гипервитаминоза – большое количество в комбикормах рыбной муки и включение наряду с витаминными премиксами рыбьего жира, обогащенного витамином А.

Для предупреждения дефицита витаминов в комбикорма вводят специальные добавки – премиксы. Премикс представляет собой однородную смесь витаминов с разбавителем или веществом-носителем. Премиксы предназначены для облегчения равномерного распределения микроингредиентов в крупной партии кормосмеси.

Уровни витаминов в премиксах должны не только покрывать потребности, но и учитывать возможные изменения, связанные с особенностями биологии определенных видов рыб, стадиями развития, возрастом и массой, естественной биологической вариабельностью, направленностью выращивания (посадочный материал, товарная продукция, производители), а также температурные, кислородные и санитарные условия выращивания, наличие стресса. Согласно данным табл. 13, биологическая вариабельность допускает 30% различий; в стрессовых условиях предполагается, что потребность рыб в витаминах возрастает на 100%. Существенное влияние на устойчивость витаминных препаратов в комбикормах оказывает технология их изготовления. К снижению биологической активности витаминов приводят уже процессы дробления и смешивания компонентов корма. Показано [Putman, 1986], что при введении премикса в комбикорма перед измельчением потери витамина А через 3 месяца хранения достигают 70%, витамина Е и B_2 – 50%. При влаготепловой обработке и в процессе гранулирования обнаружено разрушение до 50% незащищенной формы витамина А. Для витамина А

Таблица 14. Роль основных витаминов в жизнедеятельности рыб и симптомы их недостаточности, обнаруженные у различных видов (1 – радужная форель; 2 – чавыча; 3 – карп; 4 – канальный сом; 5 – угорь)

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
		Водорастворимые витамины	
B_1 (тиамин, аневрин, фактор бери-бери). Применяется в виде хлористоводородного тиамина или тиаминмононитрата. В сухой форме относительно стабилен, в виде растворов – легко разрушается под воздействием воздуха и металлов	Коэнзим, входит в состав внутриклеточных ферментов (кокарбоксилаз), регулирующих обмен углеводов и их перевод в жиры. Играет важную роль в обеспечении нормального функционирования нервных тканей и сердечной мышцы. Обеспечивает защиту желудочно-кишечного тракта и поддержание нормальных условий для перистальтики и ферментной активности, расщепления жира	Потеря аппетита (1–3, 5), снижение темпа роста (1–5), депигментация кожи (выцветание (3), потемнение (1, 5), появление голубовато-зеленой окраски на спине (1), водянка брюшной полости (1); дегенеративные изменения в печени (1); мышечная атрофия (1), повреждение мозговых тканей (1); нарушение координации (1–5); анемия (1); застой крови в плавниках (3) и жабрах (3, 5), подкожные кровоизлияния (1, 3, 5), недоразвитие головы (1) и искривление позвоночника (5), повышенная смертность (1). Резкие проявления недостаточности выражаются у карпов, в основном при кормлении сырой рыбой, содержащей антивитамин – тиаминазу, а также при питании высокоуглеводистыми кормами. Высокое содержание жиров сокращает потребность [2,9,17]	Животные продукты бедны, а растительные богаты тиамином. Максимальное содержание, мг/кг: дрожжи (пекарские – 70; гидролизные – 18; кормовые – 1[2]). Жмыхи и шроты: хлопчатниковый и льняной – 10; подсолнечный – 8; отруби: пшеничные – 6; ржаные – 4,5; травяная мука – 3–5; злаки – 4,3–2,1[2] мг/кг
B_2 (рибофлавин, лактофлавин, овофлавин). Термостабилен (100–199 °С), не разрушается при влаготепловой обработке, но разлагается на свету и при повышенной влажности	Входит в состав клеточных ферментов всех тканей, в виде кофермента флавопротеинов, участвующих в окислительно-восстановительных процессах, образовании энергии и играет важную роль в переносе атомов водорода. Тем самым, как и другие витамины группы В, участвует в обмене белков, жиров и нуклеиновых кислот. В обмене углеводов способствует образованию гликогена, синтезу и распаду жирныхкислот[1]. Обеспечивает функционирование зрительного процесса. Синтезируется микрофлорой кишечника и незначительно в тканях. В основном поступает с растительными кормами	Потеря аппетита (1–3, 5), нарушение функций органов пищеварения и выделения (3, 5), анемия (1, 3), кровоизлияния в сердце (3), на коже и плавниках (1, 3, 5), в оболочках глаз (1, 2, 3), нарушение их пигментации (3), помутнение хрусталика (1, 2, 3, 4), светобоязнь (1, 2, 3), потеря зрения (4). Некроз жабр и плавников (1), отек плавников (5), нарушение ориентации (3) и координации движений (2), судороги брюшных мышц (2). Потемнение тела, появление полос на брюхе (2). Торможение роста, повышенная смертность (1, 3, 4, 5)[7,8,9,17]. Избыток не опасен, т.к. быстро выводится из организма	Хорошие источники: концентрат метанового брожения ($КМБ_{12}$) – 50 мг/кг; дрожжи: кормовые – 34, пекарские – 30, гидролизные – 25; мука: травяная – 13, рыбная – 11; жмыхи и шроты: хлопчатниковый – 5,0–6,2, льняной – 4,0; др. виды – 0,5–3,8; злаки – 0,3–1,3[2]

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
B_3 (пантотеновая кислота, витамин G). Обычно применяется в виде кальциевой соли. Биологически усвояемой является Д-форма. Устойчив к воздействию кислорода воздуха, света и температуры 100–105 °С	Обеспечивает нормальный ход основных реакций обмена веществ, являясь составной часть коэнзима А и ацетилкоэнзима А. В соединении со специфическими белками образует многочисленные ферменты, ускоряющие обмен углеводов, распад и синтез глюкозы. Особенно важен при синтезе и расщеплении жиров, активируя длинноцепочечные жирные кислоты; необходим для синтеза фосфолипидов, холестерина; предотвращает ожирение печени. Способствует нормальному развитию центральной нервной системы, поддерживает нормальное состояние кожи. В качестве составной части коэнзима А присутствует, практически, во всех тканях[1, 13, 9]	Потеря аппетита (2, 3), резкое торможение роста (1, 3, 4, 5), замедление движений и легкие судороги (3,6), анемия (3), кожные кровоизлияния (3). Патологические изменения кожи и слизистых оболочек: изъязвления (5), сморщивание кожи (4), гниение усов (4), ослизнение кожи (1), дегенеративные изменения жабр (1–5), их склеивание (1–4); разрастание жаберного эпителия (1,4), опухоли на жаберных пластинках (1), отечность (3), булавовидные разрастания на жаберных дужках, их некроз (2, 3) и атрофия с последующим рубцеванием (3), покраснение жаберных крышек (2). Незначительные выпучивания глазного яблока (3). Массовая гибель (1–4). В прудах гипо- и авитаминоз встречаются редко [5,9,17,18]	Присутствует во всех видах сырья. Максимум в высокобелковых растительных продуктах: концентрат метанового брожения КМБ$_{12}$ – 125 мг/кг, дрожжи: пекарские – 130, гидролизные – 70, кормовые – 60; жмыхи и шроты: арахисовый – 30–35, подсолнечный – 13–46, др. виды – 11–14; отруби – 17–22; злаки – 15 (сорго) – 6,5 (кукуруза), рыбная мука – 8[2]
B_4 (холин). Применяется в виде холинхлорида. Стабилен в премиксах, может агрессивно воздействовать на другие витамины	Витаминоподобное вещество, участвует в общем обмене как донатор метильных групп. Как витамин является структурным элементом ацетилхолина и фосфолипида лецитина, входящего в состав клеточных мембран большинства тканей. Участвует в обмене жиров, предотвращая чрезмерное их отложение в клетках печени и других тканей, необходим для синтеза метионина. Находится в тесном взаимодействии с другими витаминами. Его синтез в организме обеспечивается витамином B_{12}[1, 2]	Угнетение роста (1–5), ухудшение утилизации пищи (2), нарушение пищеварения (3), кровоизлияния в кишечник и почки (1, 2, 3, 4), увеличение и жировое перерождение печени (1–4), поджелудочной железы (3), депигментация тела (1) и кишечника (5), анемия (1), экзофтальмия (1), повышенная смертность (1). В прудах гипо- и авитаминоз встречаются редко[5, 17]	Присутствует во всех кормах, особенно в высокобелковых животного происхождения. Максимум: КМБ12 – 5000 мг/кг. Дрожжи: пекарские – 3500, гидролизные – 3000, кормовые – 2500; мука рыбная – 3000; жмыхи и шроты: соевый – 2500, подсолнечный – 2300, хлопковый – 2300; отруби пшеничные – 1300; злаки – 1100, ячмень – 400. Минимум в кукурузе. Плохо усваивается из зерновых

Продолжение табл. 14

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
B_5 (никотинамид, ниацин, никотиновая кислота, витамин PP). Устойчив к нагреванию, свету и окислителям, негигроскопичен	Составная часть переносящих водород коферментов НАД и НАДФ; катализирует окислительно-восстановительные процессы в организме; участвует более, чем в 150 реакциях превращения углеводов, жиров и белков. Улучшает кровообращение, оказывает благоприятное влияние на кожу. Активизирует действие инсулина. Дефицит нарушает процессы биологического окисления, синтеза глюкозы, жиров. Избыток вызывает торможение роста и ожирение печени[1, 13]	Фотофобия (1, 2, 4), вялость (4), судороги (2, 4), нарушение равновесия (4, 5), мышечные спазмы во время покоя (1, 2), потеря аппетита (2, 3), торможение роста (1, 3, 5), увеличение смертности (2, 3), анемия (1, 5). Изменение окраски тела, выражающееся в помутнении глянца (3–4). Кровоизлияния и изъязвление кожи (2, 3, 5), появление на голове белых пятен (1), поражение жабр (1, 3), оттопыривание жаберных крышек (1). Отеки слизистой желудка и кишечника (2, 3)[2, 5, 9, 17]	Есть везде, максимум – дрожжи: пекарские – 450 мг/кг, кормовые – 300, гидролизные – 200; жмыхи и шроты: подсолнечный – 243–170, арахисовый – 120–150, остальные – 30–40, $КМБ_{12}$ – 90, мука рыбная – 60. Злаки: 60 (ячмень) – 4(пшеница)[2]
B_6 (пиридоксин, адермин). Применяется в виде хлористоводородного пиридоксина. Устойчив к повышению Т °С, но не устойчив к окислителям. В растворах разрушается на свету	В форме пиридоксаль-5-фосфата входит в состав активных групп многих ферментов, участвующих в обмене аминокислот, в частности, необходим для синтеза и превращения триптофана в никотиновую кислоту. Способствует образованию гемоглобина путем участия в синтезе гистидина и пролина, а также глобина. Оказывает влияние на синтез жира и обмен серы. Обеспечивает всасывание и перенос аминокислот через клеточные оболочки. Дефицит вызывает задержку роста, стресс, кожные заболевания, изменения в периферийной и центральной нервной системе, снижение уровня белков, поражения почек и сердца. Рыбы, получающие высокобелковые корма, нуждаются в повышенном количестве пиридоксина [1, 2, 17]	Задержка роста (3, 4, 5). Потеря аппетита (3, 5), повышенная возбудимость (1, 2, 3, 4), потеря ориентации и равновесия (1, 3), судороги, вертеж (2–5), учащенное дыхание (3) и его периодическое прекращение (2), анемия (1–3), подкожные кровоизлияния, водянка брюшной полости (1, 2, 3), пучеглазие (3), появление на печени белых пятен (1), отслаивание чешуи (3), воспаление (3) и изъязвление кожи (5), деформация жаберных крышек (2, 3), массовая гибель (1, 2, 3), снижение устойчивости к стрессам. Рыбы очень чувствительны к недостатку В6. Антагонист – линатин, содержащийся в льняном жмыхе [5, 9, 17]	Мало в животных кормах. Максимум – дрожжи: пекарские – 482 мг/кг, кормовые – 252, гидролизные – 102. Жмыхи и шроты: подсолнечный – 176–112, арахисовый – 116, соевый – 96. Отруби пшеничные – 116–202. Кровяная мука – 52, рыбная мука – 3,6–0,96. Злаки: кукуруза – 4,92, пшеница – 4,02, ячмень – 4,32, другие – 1,2 (овес) – 2,16 (рожь)

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
B_7 (витамин H_2, биотин). Термостабилен, устойчив к окислению кислородом, не разрушается на свету	Играет важную роль в углеводном, жировом и белковом обмене, участвуя как компонент ферментов. Необходим при синтезе жирных кислот, протеинов и пуринов, в обмене триптофана. Способствует усвоению жирных кислот. Воздействует на обмен холестерина и нуклеиновых кислот, дезаминирование аминокислот, активатор лизоцима, способствующего приобретению иммунитета к инфекционным болезням. Взаимосвязан с витаминами B_3, B_6, B_{12}, B_C и С. Регулирует функциональное состояние нервной системы. Поступает с растительными компонентами	Угнетение роста (1, 2, 3, 5). Потеря аппетита (2, 3, 5), замедление и дискоординация движений (2, 3, 5), конвульсии (2, 3), побледнение кожных покровов (исчезновение пигментации (3, 4), появление голубоватой слизи (1), уменьшение числа эритроцитов (2,3), поражение задней части кишечника (2,3), массовая гибель (1)[5, 9, 17]	Присутствует во всех растительных и животных кормах. Максимум в дрожжах, мг/кг: кормовые – 1,26–1,62, пекарские – 1,0. Рыбная мука – 0,1–0,46. Жмыхи и шроты: арахисовый – 0,342–0,426, соевый 0,392–0,366. Отруби пшеничные – 0,012–0,546. Минимум в злаках: 0,02 (сорго) – 0,158 (овес)[2]
B_8 (инозит, инозитол, мезоинозит)	Входит в системы, обеспечивающие формирование и развитие клеток в молодом растущем организме, участвует в транспорте жиров. Играет структурную роль, входя в состав фосфолипидов (фосфатил инозитол)	Повышенная смертность (1) у личинок (3). Гиповитаминоз вызывает эрозию спинного плавника особенно у основания, что приводит к поражению сапролегнией с последующим обнажением мышц и исчезновением плавника. Ускоряет эвакуацию пищи, вызывает потемнение кожи (2), появление на ней язв (5) и ломкость плавников (1,2). Ожирение печени (1), анемия (1), побеление кишечника (5). Приводит к ухудшению аппетита (3, 5) и торможению роста (1–3, 5)[5, 17]	Широко распространен во всех животных и растительных кормах в виде гексафосфорного эфира-фитина. Максимум: пшеница – 17002, отруби пшеничные – 1000. Кукуруза – 450, рыбная мука – 170
B_C (B_9 фолиевая кислота). Кристаллическая форма относительно устойчива к воздуху и теплу, но не теряет свои свойства под действием света и ультрафиолетовых лучей. Стабильна в нейтральных растворах, в кислых и щелочных разрушается	Кофермент многих клеточных ферментов, регулирующих синтез аминокислот (метионина, серина, гистидина), холина, нуклеиновых кислот. Необходима для образования форменных элементов крови[1, 2]. Синтезируются в малых количествах кишечной микрофлорой карпа[10]. Антагонисты-антибиотки и сульфаниламиды	Ухудшение аппетита (4, 5), угнетение роста (1, 2, 4, 5), вялость (1, 2, 4), водянка (2). Нарушение образования форменных элементов крови, много незрелых эритроцитов (1, 2); анемия (2), усугубляется недостатком В12. Потемнение окраски кожи (2, 5), ломкость хвостового плавника (1, 2), повышение смертности (1, 2, 4). У карпа авитаминоз проявляется редко[5, 17]	Присутствует практически во всех видах сырья. Максимум в дрожжах: кормовые – 27 мг/кг, пекарские – 23, гидролизные – 10. Жмыхи и шроты: соевый – 3,8–6,0[2], хлопчатниковый – 2,3. Мало во всех сортах зерновых и рыбной муке. Злаки: 0,276 (просо)–0,6–0,7[6] (пшеница, ячмень)

Продолжение табл. 14

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
B_{12} (цианкобламин, коболамин, фактор животного белка, оксикобламин). Устойчив к температуре 100 °С в течение 1 ч, стабилен на воздухе, чувствителен к действию света, влаги и давления	Необходим для нормального кроветворения. Прямо или косвенно участвует в биосинтезе белковых молекул нуклеиновых кислот, а также в углеводном и жировом обменах. Вместе с фолиевой кислотой участвует в ресинтезе метионина и холина. Обладает мощным липотропным действием, предотвращая отложение ненасыщенных жирных кислот в печени. Улучшает усвоение белков корма, усиливает рост рыб [2, 4]. Синтезируемый микрофлорой кишечника карпов[13] используется для самоснабжения. Для синтеза необходим кобальт	Малокровие, сопровождающееся уменьшением количества эритроцитов и концентрации гемоглобина (1,2), потемнение кожи (2), ухудшение аппетита (2,5), угнетение роста (1–5), ухудшение использования корма (1–5). У карпа авитаминоз проявляется редко в основном при отсутствии животной пищи[5, 17]	Присутствует только в продуктах животного происхождения. Максимум в гаприне – 3000–6000 мкг/кг, в рыбной муке – 50–110 мкг/кг[2], в сухом обрате – 40 мкг/кг[2], в кровяной муке – 30, в дрожжах – 3 мкг/кг[2]
С (аскорбиновая кислота). Нестабильна в присутствии кислорода. Быстро разрушается в водных растворах и при повышении температуры, а также при гранулировании и особенно при экструдировании. Окислительное расщепление катализируется светом и тяжелыми металлами. Имеет устойчивые формы полифосфатов и сульфатов	Участвует в биосинтезе коллагена и хрящей, а также белков соединительной ткани. Переносит водород, обеспечивает нормальное протекание окислительно-восстановительных процессов в тканях. Играет важную роль в синтезе гормонов (в надпочечниках – адреналина, поджелудочной железе – инсулина), гормональной регуляции репродуктивных органов, синтезе гликогена в печени, гемоглобина и в процессе свертывания крови. Улучшает всасывание железа, влияет на обмен серы. Принимает участие в образовании белка опорных тканей, а также белков соединительной ткани. Обеспечивает функции нервной системы. Оказывает антиоксидантное действие, дает синергический эффект вместе с витамином Е и селеном, предотвращая перекисное окисление в тканях. Оказывает детоксицирующее действие. Повышает сопротивляемость к инфекциям и различным нагрузкам (ослабляет или полностью снимает влияние стресса[13]). Позитивно действует на фагоцитоз. Синтезируется микрофлорой кишечника, но с недостаточной скоростью[11]	Угнетение роста (1–3, 5), ухудшение аппетита (1–3), высокая гибель (1, 2). Повышается предрасположенность к инфекционным заболеваниям. Нарушается образование коллагена, приводящее к изменению хрящей и искривлению позвоночника: вертикальному (лордоз) и горизонтальному (сколиоз) (1, 2, 3). Аномальное развитие жаберных крышек (1, 3). Точечные кровоизлияния в печени, почках, кишечнике (1, 3), мышцах (1, 2, 3), на коже (1, 3, 5), плавниках и ротовой полости (5); появление на жабрах беловатых пятен (2), повреждения глаз (пучеглазие, 2,3)[5, 17]. Наиболее сильно авитаминоз проявляется на начальных стадиях выращивания молоди на стартовых кормах и далее при сверхвысоких плотностях посадок, а также в индустриальных хозяйствах	Круг кормовых средств, содержащих в натуральном виде витамин С, достаточно ограничен, но усвояемость его велика. Поступает в основном с зеленой растительностью и естественной пищей. В сухом обрате содержится в количествах – 120–134[3] мг/кг, в травяной муке – 5,6[3], в зерновых – следы[3]

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
		ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ	
А (ретинол, аксерофтол). Применяется в виде спиртового раствора чистого витамина, а также порошкообразного ретинол-ацетата и ретинол-пальмитата. Часто используется в форме предшественника β-каротина. Легко разрушается при нагревании и на свету, а также в присутствии в корме высоких количеств нитратов, нитритов, сульфатов, окисленных жиров при недостатке в корме витамина Е, белка, фосфора, гидролизуемых углеводов[10]	Играет важную роль в обмене веществ, влияя на стабильность оболочек клеток и их органелл, способствует регенерации кожи и слизистой оболочки. Прямо или косвенно участвует в передаче генетического кода. Влияет на обмен минеральных веществ и белков, ускоряет окислительно-восстановительные процессы. Участвует в синтезе половых гормонов (стероидов) и гормонов коры надпочечников. Оказывает влияние на регуляцию клеточного деления, участвует в образовании холестерина, усиливает выработку липазы. Требуется для поддержания нормального состояния эпителия кожи, дыхательной, пищеварительной и мочеполовой системы. Необходим для нормального функционирования органов зрения, участвуя в образовании зрительных пигментов. Обеспечивает общую резистентность организма, его невосприимчивость к инфекционным и инвазионным заболеваниям. Повышает устойчивость к стрессам. Депонируется в печени. Синтезируется в животном организме. Предшественниками являются каротиноиды растительного и микробиального происхождения (наиболее распространен β-каротин)[1, 2, 13]	Общие признаки – нарушение роста и костеобразования, повышение восприимчивости к заболеваниям. Угнетение роста (1, 2, 3, 4), потеря аппетита (3), язвы (4) и кровоизлияния на коже, плавниках, жабрах (3, 4), почках (4), искривление и утолщение жаберных перепонок, деформация жаберных крышек (3), выпячивание глазного яблока (3, 4)7. Нарушение зрения за счет распада пигментов сетчатки, сухость и тусклость роговицы, скопление жидкости в полости, отечность (3, 5), побеление тела (1–3), пониженный гематокрит (1, 2)17. Безвредный уровень витамина А в корме находится в зависимости от вида и веса рыб	Встречается только в кормах животного происхождения. В растительных кормах его предшественники – каротиноиды. Максимум, мг/кг: рыбий жир витаминизированный – 500, натуральный – 350, яичный порошок – 43, льняной шрот – 0,4[6], сухой обрат – 0,3[6]. Каротин: кукуруза – 8[2], рожь – 2,0, другие злаки – 0,5–1,0; Жмыхи и шроты: соевый – 4,0, льняной, подсолнечный – 2,0, хлопчатниковый – 1,0[2]. 1 ИЕ = 0,3 мкг спиртового раствора чистого витамина А = 0,344 мкг ретинол-ацетата = 0,566 мкг ретинол-пальмитата= 0,359 мкг ретинол-пропионата= 0,6 мкг. β–каротин = 1 ед. фармакопеи США = 1 мкг ретинола = 1,147 мкг ретинол-ацетата

Продолжение табл. 14

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
Группа Д – кальциферолы. Из них применяются: $Д_2$ – эргокальциферол, $Д_3$ –холекальциферол. Кристаллические формы разрушаются на воздухе, под действием света и при нагревании. Стабилен в масляном растворе. Разрушается при наличии в корме окисленных жиров, сернокислых солей микроэлементов	Принимает участие в регуляции минерального и энергетического обмена, стимулирует деятельность желез внутренней секреции (гипофиза, щитовидной, паращитовидной, поджелудочной желез, коры надпочечников). Способствует всасыванию кальция и фосфора в кишечнике, регулирует их концентрацию в организме и выделение через почки, управляет их накоплением и соотношением в костных тканях. Особенно важен при нарушении соотношения кальция и фосфора в корме, проявляя тем самым антирахитическую активность. Депонируется в печени[1, 13]	Основное следствие Д-авитаминоза – нарушение нормального процесса костеобразования (1), что выражается в снижении содержания органических и минеральных веществ в костной матрице и повышении содержания в ней воды (1,4), судороги (1). Низкая эффективность использования корма, торможение роста. Недоразвитие жаберных крышек (1). У карпа и чавычи визуальные признаки недостаточности не выявлены	$Д_3$ – синтезируется у животных. Источники: сухой обрат – 0,4 мг/кг[6]. В наибольших количествах содержится в печеночной муке и рыбьем жире. $Д_2$ в малых количествах синтезируется в растениях. 1 ИЕ = 0,025 мкг кристаллического витамина $Д_3$. Активность $Д_2 = Д_3$
Е – токоферолы: Д или DL-α, DL-β, DL-γ и т.д.). Имеют 8 форм, из которых наибольшей активностью обладают Д-α и DL-α-токоферолы. Применяются в форме жирорастворимых витаминов и порошка DL-α токоферилацетата-адсорбата на базе коллоидной кремневой кислоты. Потери при температуре 100–105 °С около 3%, возрастают при хранении (3 мес.) до 25% особенно в смеси с микроэлементами	Необходим для обеспечения клеточного дыхания, способствует сохранению целостности мембран клеток, предохраняя от окисления селеносодержащие белки. Оказывает детоксицирующее действие на клеточный обмен. Контролирует синтез РНК[15]. Способствует синтезу аскорбиновой кислоты[3]. Регулирует белковый, углеводный и липидный обмен, препятствуя образованию токсических продуктов. Подавляет самоокисление ненасыщенных жирных кислот и витаминов и др. легкоокисляющихся веществ, играя тем самым роль естественного антиокислителя[1]. Является антикоагулянтом, обладает антиспазматическим действием, регулирует развитие и функции половых желез, стимулирует процесс образования антител, регулирует обмен гормонов, посредством воздействия на переднюю долю гипофиза. Предохраняет организм от токсического действия содержащихся в пище окисленных масел[12].	Общий признак Е авитаминоза – повреждение липопротеиновой оболочки клеток и ее органелл (что связано с выпадением антиокислительной функции витамина Е), выход содержащихся в них ферментов, снижение стойкости эритроцитов (гемолиз). Нарушение кроветворения (анемия 1, 2, 3, 4), увеличение количества ювенильных эритроцитов (2). Снижение содержания мышечных белков (потеря миоглобина), обводнение и атрофия мышечных волокон (3, 4). Появление белого налета на спине (3). Лордоз, нарушение координации движений (3), снижение гормональной функции поджелудочной железы и гипофиза (3, 2). Нарушение воспроизводительной функции (1). Липоидная дегенерация печени (1, 2, 3, 4) и почек (2), скопление жидкости в полостях, особенно при скармливании прогорклых жиров (2, 3), пучеглазие (2, 3), дегенерация жабр (2), плохой рост (1, 2, 3).	Широко представлены в зеленых растениях, травяной муке, зародышах злаковых и особенно в растительных маслах, мг/кг: подсолнечное – 490, сафлоровое – 400, арахисовое – 150, проростках пшеницы – 200; травяная мука содержит 100–120 мг/кг, овес – 75, соевый жмых – 41, хлопковый жмых – 32, ячмень – 50, пшеница – 43, рожь, кукуруза – 31. Другие источники: отруби – 2, подсолнечный жмых – 6 мг/кг. 1 ИЕ = 1 мг витамина Е = 1 мг DL-α-токоферилацетата = 1,1 мг DL-α-токоферолацетата.

Окончание табл. 14

Витамины, официальное и тривиальное название	Физиологическая роль	Симптомы недостаточности	Источники витаминов, мг или ИЕ 1 кг корма
	В организме животных не синтезируется[3]. Антагонисты: полиненасыщенные жирные кислоты, окисленные жиры, сульфаниламиды, бисульфит натрия, гидролизные дрожжи, выращенные на сульфитных щелоках	Воспаление сердечных клапанов, экссудат в поджелудочной железе (2). При лечении одновременно с витамином Е благоприятно влияние селена для предотвращения различных недостаточностей. Возможен гипервитаминоз. При нем замедляется рост, нарушается функция размножения, в печени уменьшается содержание витамина А[3,5,12,13,17,18]	
К – $К_1$-филлохинон; $К_2$–менахинон, $К_3$-менадион (викасол). Применяется в виде $К_3$ – (викасола), который в организме животных преобразуется в активную форму – $К_2$. Имеется стабилизированная форма $К_3$-MSB (менадион-гидросульфит натрия-ди-/тригидрат) в матрице из желатина и вещетсв-носителей. Представляет собой порошок, растворимый в воде	Участвует в клеточном дыхании, а в печени играет роль катализатора, влияющего на образование ряда важных для свертывания крови протеинов, в том числе протромбина[1]	Легкая анемия (1), удлинение времени свертывания крови (1–3), пониженный гематокрит (1)[17]	В зеленых растениях много активного $К_1$, но мало в зерновых (0,5–0,8 мг/кг) и шротах. В рыбной и мясокостной муке средний уровень $К_2$ (2–5 мг/кг)

Источники информации: 1 – Орлинский, 1984; 2 – Петрухин, 1972; 3 – Труфанов, 1972; 4 – Калунянц, Ездаков, Пивняк, 1980; 5 – Ketola, 1977; 6 – Справочные сведения..., 1990; 7 – Aoe et al., цит. по 6; 8 – Takeuchi, et al., цит. по 6; 9 – Ogino и др., цит. по 6; 10 – Kasiwoda, цит. по 6; 11 – Ikeda, цит. по 6; 12 – Watanabe, цит. по 6; 13 – Филлипович, 1969; 14 – Rumsey, 1983; 15 – Донченко и др., 1985; 16 – Koenig, 1977; 17 – Гамыгин, 1987.

температура является менее разрушительным фактором, чем влажный пар. Под действием влажного пара в значительной мере разрушаются и витамины B_1, K_3 и С. На сохранность витаминов неблагоприятно действует повышенное давление (50–100 бар и более).

В наибольшей степени отрицательное влияние гидротермической и гидро-баро-термической обработки сказывается на активности витаминов при хранении. Причем интенсивность разрушительного действия технологий идет по возрастающей: смешивание > размол > сухое прессование > экспандирование > экструдирование. Известно, что при экструдировании сразу разрушается 90% аскорбиновой кислоты, 16–11% – витамина Е, 6% – витамина А; 11% – витаминов B_1 и B_2. В то же время B_4, B_6, B_7, B_8 очень устойчивы.

По данным фирмы "BASF" [1997], через один месяц хранения комбикорм без обработки может потерять 10% витамина К, 5% большинства витаминов и 40% витамина С. Гранулированный комбикорм в зависимости от времени кондиционирования (прогревания) теряет около 10% всех витаминов и более 50% – K_3 и С. При экспандировании и хранении 2 месяца теряется 5% витаминов B_2, B_3, B_5, B_6, B_C, B_{12}; 10% – B_1; 20% – А и Е; 25% – $Д_3$; 75% – С и 80% – K_3.

M. Marchetti [1999], изучая выщелачивание кристаллических и покрытых жировой оболочкой витаминов из гранулированных и экструдированных комбикормов после погружения в воду на 1 и 2 ч сделал следующее заключение. Отдельные витамины и премиксы, покрытые жировой оболочкой (особенно аскорбиновая кислота, пиридоксин и менадион), значительно меньше экстрагируются в воде, особенно в случае экструдирования, и меньше теряют активность при хранении, чем премиксы без покрытия. Несмотря на такой отрицательный фактор, как удорожание производства, применение витаминов и премиксов, покрытых жировой оболочкой, целесообразно, так как способствует экономии затрат на дополнительное внесение витаминов с целью компенсации их потерь при производстве, хранении и выщелачивании.

В табл. 15 показаны потери витаминов при экструдировании комбикорма для форели.

Таблица 15. Влияние экструзии на сохранность витаминов в комбикорме для форели [данные фирмы "BASF", 1997]

Витамины	Остаток, %		
	после экструзии	через месяц	через 3 месяца
А (ретинол-ацетат, защищенная форма, микрокапсулы)	90–95	85–90	60–75
$Д_3$ – холекальциферол, капсулы	95	70–80	50–55
Е – токоферол ацетат, сухой	95–100	85–900	70–75
K_3 (МСБ) – менадион	0–20	0–20	0–20
С (аскорбиновая к-та, кристаллическая)	10	0	0
С (полифосфат)	90–100	90–100	80–95
B_1 – тиамин	90–100	90–100	90–95
B_2 – рибофлавин	95	90–95	90
B_3 – пантотеновая кислота	95–100	95–100	95–100
B_6 – пиридоксин	90–100	80–90	75–90
B_7 – биотин	95–100	95–100	95–100
B_C – фолиевая кислота	90–100	85–100	75–95
B_5 – никотиновая кислота	95–100	95–100	95–100
B_{12}* – цианкобламин	35–80	35–80	35–80

* Самые большие потери витаминов происходят на наиболее высокотемпературной стадии процесса.

Особый интерес вызывает взаимное влияние витаминов и микроэлементов. Известно, что присутствие в течение 4-х месяцев в кормах минералов (Ca, Mn, Zn, I), особенно с переменной валентностью (таких как медь и железо), отрицательно сказывалось на сохранности витаминов B_2 и B_5. Витамин B_{12} в составе комбикорма с микроэлементами через 2 недели разрушался на 60–70%; от витамина B_2 в присутствии KI через 2 месяца оставалось 46%.

Есть сведения, что микроэлементные премиксы, содержащие железо и медь, могут ускорять окисление витаминов А, Е и С.

Введение минеральных элементов в виде водорастворимых сульфатов и хлоридов имеет преимущество перед нерастворимыми карбонатами и окислами, что выражается в их хорошем усвоении. Однако их гидрофильность способствует разрушению витаминов.

На метаболическом уровне в организме существуют определенные взаимодействия между отдельными витаминами, а также витаминами и минеральными элементами (табл. 16). Так, у радужной форели при избыточном содержании витамина Е в кормах в присутствии больших количеств витамина С могут проявляться симптомы токсичности. Уровни витамина Е в кормах играют важную роль в отложении в мышцах рыб каротиноидных пигментов. Положительное взаимодействие выявлено между витамином Д и кальцием, витамином Е и селеном, отрицательное – между витамином С и медью, витамином С и железом.

Таблица 16. Взаимосвязи между макро- и микроэлементами и витаминами [по Орлинскому, 1984]

Элемент	Характер взаимосвязей
Фосфор	При оптимальном поступлении обеспечиваются благоприятные условия для более полного превращения каротина в витамин А и синтез B_{12}
Цинк	Синергист $Д_2$ (эргокальциферола). При его введении усиливается антирахитическое действие. При недостатке цинка в кормах для молоди может возникнуть А-гиповитаминоз, который не устраняется даже при избытке каротина
Медь	Является антагонистом витамина А, ускоряет процесс его окисления
Кобальт	Стимулирует синтез витаминов B_1 и B_2, которые способствуют образованию B_{12}. Введение кобальта до нормы способствует накоплению в печени витаминов А, Е и С
Молибден	Способствует накоплению в организме витамина С, избыток – тормозит синтез витамина B_{12}
Марганец	Стимулирует синтез и депонирование аскорбиновой кислоты в тканях. Оказывает благоприятное влияние на усвоение и расход витаминов А, С, Е и К в организме. Снижает потребность в токоферолe (витамине Е)

Для уменьшения степени разрушения витаминов при изготовлении комбикормов применяют их стабилизированные формы, вводят витаминные премиксы в кормосмесь после дробления компонентов; совершенствуют параметры технологии гидротермической и гидробаротермической обработки. Для уменьшения активной поверхности микроэлементов их гранулируют со связующими веществами; используют хелатные (соединенные с органическими веществами) формы микроэлементов. С целью повышения стабильности минерально-витаминных премиксов ведут поиск новых наполнителей с меньшим числом отрицательных свойств.

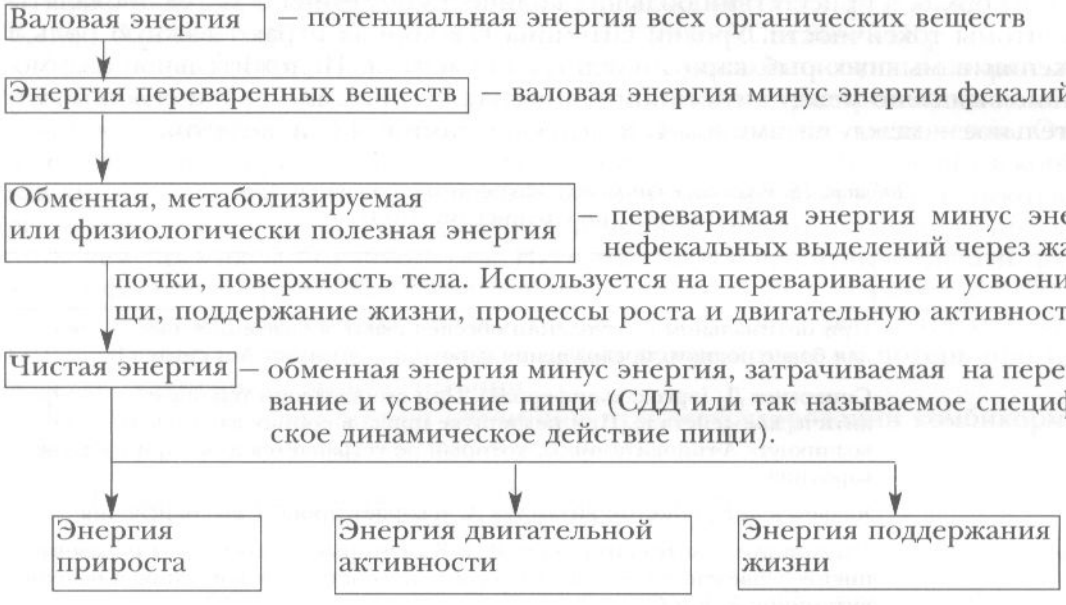
В табл. 3–5 Приложения приведены состав отечественных витаминных премиксов, а также известные дозировоки витаминов в зарубежных премиксах.

1.6. Энергия

Для обеспечения процессов обмена и роста живой организм нуждается в большом количестве энергии*, которую он получает из пищи. Для быстрорастущих животных, к числу которых относятся рыбы, энергетические траты, необходимые для обеспечения потребностей роста, играют главенствующую роль.

Известно, что удовлетворение энергетических потребностей организма является главным стимулом приема пищи. О преимущественном значении энергетических потребностей свидетельствует то, что в условиях калорийного голодания организм расходует в качестве "горючего" не только запасные жиры и углеводы, но и тканевые белки. Одним из наиболее эффективных путей снабжения организма энергией является окислительный распад жиров, при котором организм получает 39,4 кДж/г, при распаде 1 г белков – 22,9, 1 г углеводов – 16,4 кДж.

В упрощенном виде распределение энергии пищи в организме рыб можно представить следующим образом:



По усредненным данным [Бретт, Гроувс, 1983], количественное распределение энергии пищи в организме рыб имеет следующий вид.

При условии, что валовая энергия составляет 100%, а энергия фекалий – 20-25%, на долю переваримой энергии приходится 75–80%.

Часть ее (~7%) после превращений в промежуточном обмене выделяется через жабры, почки и поверхность тела в виде нефекальных экскретов.

Оставшаяся часть (~68–73%) представляет собой физиологическую полезную (метаболизируемую или обменную) энергию.

Из этой энергии на переваривание и усвоение пищи (СДД) расходуется около 12–13%.

Остается, так называемая чистая энергия, которая приблизительно составляет 56–60% валовой. Чистая энергия используется на поддержание жизни (~7%), двигательную активность (~23%), прирост массы (или энергию роста) – 29% (0–45%).

Таким образом, сумма энерготрат на поддержание жизни и обычную двигательную активность (так называемые "теплопотери") составляет около 30% валовой и 40% обменной энергии.

Приведенные значения имеют ориентировочный характер и могут изменяться в зависимости от состава и качества корма, величины его потребления, био-

---

* По международной системе единиц (СИ) энергия измеряется в джоулях (Дж) и кратных ему единицах: килоджоулях (кДж = 1000 Дж), мегаджоулях (МДж = 1000 кДж) и т.д. 1 Дж = 0,239 кал, 1 кал = 4,187 Дж. 1 кал – количество тепла, необходимого для повышения температуры 1 г воды с 14,5 до 15,5°С.

логических особенностей рыб, экологических условий. Так, согласно нашим данным [Щербина, 1973, 1980, 1984а, 2000 и др.], описанное распределение следует относить к случаям питания рыб в естественных условиях или молоди в аквакультуре, которая получает физиологически полноценные комбикорма с высокой долей животных компонентов (см. табл. 18). При использовании современных промышленных комбикормов переваримость энергии у карповых рыб старших возрастных групп находится в диапазоне 50–70% (наиболее часто ближе к нижнему пределу), у лососевых – 60–80%.

Результаты собственных экспериментов с комбикормами различного состава дали основание предложить для практического использования детализированную систему расчетов физиологически полезной энергии комбикормов для карпа и форели с учетом усредненных коэффициентов переваримости питательных веществ (табл. 17).

Таблица 17. Коэффициенты для расчета физиологической калорийности кормов у рыб [Щербина, 2000]

Питательные вещества	Энергетический коэффициент, кКал/г	Переваримость, %	Физиологическая калорийность	
			кКал/г	кДж/г
		Карп		
Белок	4,4*	83	3,65	15,30
Сырой протеин	4,4	75	3,30	13,80
Жир:				
при содержании 2–4%	9,5	50	4,75	19,90
более 4%	9,5	75	7,13	29,80
Углеводы:				
легкогидролизуемые	4,2	65; 75**	2,73; 3,15	11,40; 13,2
трудногидролизуемые	4,2	30; 50**	1,26; 2,10	5,27; 8,79
		Форель		
Белок	4,4*	85	3,74	15,65
Сырой протеин	4,4	80	3.52	14,73
Жир	9,5	90	8,55	35,78
Углеводы:				
легкогидролизуемые	4,2	35; 80**	1,47; 3,36	6,15; 14,06
трудногидролизуемые	4,2	35; 50**	1,47; 2,10	6,15; 8,79

*Энергетический коэффициент для белков, предполагающий выделение продуктов их распада в основном посредством образования аммонийных соединений [Phillips, 1969].

**После экструзии.

Есть данные о том, что в абсолютном выражении у плотоядных рыб умеренных широт (масса 10–100 г, температура воды 15 °С) энерготраты на поддержание жизнедеятельности и двигательную активность в среднем составляют около 30 кДж на 1 кг массы в сутки. При повышении температуры эта величина возрастает приблизительно в 2–3 раза.

К примеру, у карпов массой 25–60 г при 23 °С экспериментально определенная энергия поддержания составила ~102 кДж обменной энергии на 1 кг массы в сутки при эффективности ее утилизации 60% [Meyer-Burgdorff et al., 1989]. Для достижения высокой скорости роста карпу требовалось 530 кДж/кг в сутки. При этом эффективность использования энергии была близкой к 60%, то есть на прирост массы требовалось 318–370 кДж в сутки. Остальные 212–160 кДж шли на поддержание жизни и двигательную активность.

От того, насколько энергетические потребности могут быть обеспечены за счет основных источников – углеводов и жиров, зависит степень использования сырого протеина корма для синтеза белков в организме. Их присутствие в диете оказывает азотсберегающий эффект. Механизм этого эффекта становится понятным, если учесть, что процессы синтеза белка требуют большого количества энергии. Например, у птиц – это около 48 кДж обменной энергии на 1 г белка. У рыб в силу их пойкилотермности эта величина должна быть ниже и приближаться к теоретической – 26 кДж/г [Баттери, Бормен, 1980]. Недостаточное поступление жиров и углеводов приводит к интенсивному использованию аминокислот в качестве энергетического источника. Следствием этого является снижение конверсии белка для производства продукции. Поэтому важным условием для повышения конверсии белка и корма в целом является правильное соотношение калорийности рациона и уровня протеина (с учетом степени его сбалансированности).

В табл. 18 приведены сведения о количествах веществ и энергии, требуемых для прироста 1 кг массы разновозрастных карпов, а также об источниках энергии в естественной пище и комбикормах.

Таблица 18. Энергетические составляющие естественной пищи и ряда комбикормов (к/к), а также количество энергии и нутриентов, необходимое для прироста единицы массы карпов [Щербина, 2000]

Показатель	Вид корма					
	к/к ВБС-РЖ-90	Дрожжи-паприн	Личинки Chironomus thummi	Daphnia magna	к/к ВБС-РЖ-81	к/к СБС-РЖ
Возраст рыб	Сеголетки			Годовики		Двухлетки
Масса рыб, г	1–17	14–35	30–38	15–35	20–50	70–200
Температура воды, °С	24–25	24	24	24	22–24	21–23
Характеристика корма						
Сырой протеин, % (П)	41/35	44/40	37/32	42/34	30/24	25/21
Энергия, МДж/100 г (Э):						
валовая	1,96	2,05	2,09	1,94	1,94	1,89
переваримая	1,51	1,64	1,70	1,45	1,16	1,11
метаболическая	1,47	1,59	1,66	1,40	1,13	1,08
Доля энергии, % к общей:						
белка	50/56	51/58	42/44	52/56	37/50	32/45
липидов	11/13	15/15	17/20	16/17	9,8/10	9,7/14
углеводов	39/31	34/27	41/36	32/27	53/40	58/41
Отношение П/Э, мг белка/кДж	21/23,2	21,5/24,4	17,7/18,9	21,7/23,4	15,5/20,8	13,1/18,9
Соотношение энергии азотсодержащих и безазотистых веществ	1:1,0/1:0,8	1:0,9/1:0,7	1:1,4/1:1,2	1:0,9/1:0,8	1:1,7/1:1,0	1:2,1/1:1,2
Потребление на 1 кг прироста рыб						
Сухое вещество, г	950/635	1360/1089	1210/956	1040/676	2300/1200	2400/1248
Сырой протеин, г	392/336	597/539	450/380	440/350	690/550	610/500
Углеводы	413/249	530/346	580/417	370/237	1350/607	1500/630
Липиды	51/48	107/83	110/103	80/63	110/68	110/93
Энергия, МДж:						
валовая	18,6	27,9	25,3	20,0	44,6	45,3
переваримая	14,3	22,3	20,6	15,1	26,7	26,6
метаболическая	14,0	21,6	20,1	14,6	26,0	25,9

Примечание. Перед чертой – валовые, за чертой – переваримые вещества и энергия.

Анализ табл. 18 дает основание говорить, что при питании сеголеток и годовиков дафниями и сбалансированным по аминокислотам комбикормом ВБС-РЖ-90 на 1 кг прироста требовалось 14–15 МДж переваримой и обменной (метаболической) энергии. При этом на долю белка приходилось 56%. Если пищей служили личинки хирономид, имевшие также сбалансированный белок, но большую долю энергии за счет жиров и углеводов (56 вместо 44%), затраты переваримой энергии возросли до 20,6 мДж/кг. Здесь хорошо прослеживается белоксберегающее действие безазотистых источников энергии: в трех случаях на прирост 1 кг массы карпам требовалось близкое количество переваримого белка пищи – 340–380 г при разнице в затратах энергии на 1/3.

Дисбаланс аминокислотного состава дрожжевого белка обусловил повышение требований организма к количеству потребляемого белка до 540 г, энергии – до 22 мДж на 1 кг прироста.

При питании карпов массой 20–200 г менее сбалансированными кормами с большим содержанием углеводов и существенно меньшим содержанием белка потребность в переваримой энергии на прирост 1 кг массы возросла до 26 мДж, в белках – до 500–550 г.

Для протеино-энергетической характеристики кормов широко используется показатель их соотношения, выражаемый количеством переваримого белка (мг), приходящегося на 1 кДж переваримой или обменной энергии (см. табл. 6).

Согласно этим данным, для карпа при условии аминокислотной сбалансированности кормов, этот показатель находится в пределах от 19 до 24 мг переваримого белка/кДж. Для лососевых рыб границы оптимальных соотношений в кормах для молоди определены в пределах 19–25, для рыб старших возрастов – 21–23, для молоди канального сома от 24 до 30 мг переваримого белка/кДж.

Эффективность источников энергии в кормлении рыб зависит от их экологических особенностей. В питании холодолюбивых рыб основными источниками энергии служат липиды, в частности триглицериды, в составе которых преобладают пальмитиновая, олеиновая и линолевая кислоты, а вторым по значению, а нередко и первым, – белки. Углеводы не играют столь существенной роли, как у теплолюбивых рыб. Так, судя по данным табл. 18, в питании теплолюбивых карпов доля углеводов в переваримой энергии в основном меньше, чем белка, только на 20%, а липидов – в 2–3 раза.

В заключение следует отметить, что в современном зарубежном лососеводстве меняются взгляды на соотношение белка и источников энергии в высокопродуктивных комбикормах для рыб старших возрастных групп. По сведениям фирмы "Bio Mar" [2000], если в 1975 г. распределение сырого протеина, жира и углеводов было в соотношении (%) 58:8:24, в 1984 г. – 50:22:17, в 1995 г. – 40:33:11, то в 1998 г. – 38:38:12. Эти изменения способствовали значительной экономии белка и повышению экономической эффективности производства.

***

В представленной главе на основе анализа современной литературы в сжатой форме дано описание роли основных групп питательных веществ в жизнедеятельности рыб и приведены усредненные данные по их пищевым потребностям. Особое внимание уделено общему количеству белка и его качественному составу, в частности незаменимым аминокислотам, а также жирам и незаменимым жирным кислотам, витаминам и минеральным веществам. В то же время следует сказать о недостатках существующих материалов, касающихся потребностей рыб в питательных веществах. Несмотря на большой объем выполненных исследований и большое количество разнообразных сведений, можно видеть, что существующий банк данных как по группам веществ, так и по отдельным нутриентам недостаточно полноценен. По многим объектам разведения и отдельным питательным веществам сведения единичны и фрагментарны. При этом основное количество данных относится к рыбам на ранних стадиях развития, что оправданно с научной точки зрения, так как молодь характеризуется наиболее активным метаболизмом и высокими потребностями, но недостаточно с позиций производ-

ства товарной продукции. Нередко эти данные распространяются не только на взрослых особей, к тому же выращиваемые в иных условиях, но и на другие виды рыб. Существует большой разброс в величинах потребностей в отдельных нутриентах, в частности незаменимых аминокислотах. Все это вносит определенные искажения в расчеты оптимальных рационов, особенно по белку и лимитирующим аминокислотам.

Однако уточнение потребностей ведется постоянно, и мировая практика разработки на этой основе комбикормов для различных видов рыб свидетельствует о полезности использования даже не столь совершенного подхода к созданию рецептур комбикормов. Допускаемые в этих случаях погрешности дают значительно меньше искажений объективной реальности, чем игнорирование потребностей.

Обширная литература с большим разбросом показателей существует также и по отношению к потребностям рыб в отдельных витаминах и их группах. В основном они подбирались к комбикормам самого разнообразного состава при слабом учете витаминного содержания компонентов, что обусловлено определенными техническими трудностями. При этом нередко можно было наблюдать смешивание понятий физиологической ("чистой") и практической ("рекомендуемой") потребностью. Одновременно во многих литературных источниках встречается идентичность показателей, которая свидетельствует о частом заимствовании первоначальных данных у японских и американских исследователей. Однако интерес к определению потребностей рыб в витаминах сохраняется на высоком уровне и банк данных активно пополняется. Это связано с расширением производства самих витаминных препаратов, резким увеличением мировой продукции аквакультуры, а также разнообразием технологических приемов изготовления комбикормов, разрушающих отдельные группы витаминов. Использование в практических целях даже не вполне совершенных витаминных премиксов позволяет предупреждать развитие у рыб большого числа патологий, свойственных выращиванию на искусственных кормах.

Несмотря на удорожание кормов, витаминные премиксы, как правило, помогают повысить их продуктивное действие и в определенной степени устойчивость рыб к воздействию различных токсических агентов и антипитательных факторов, имеющихся в кормах, а также к стрессирующим экологическим и технологическим условиям. Исследования по выяснению оптимальных дозировок и сочетаний витаминов в премиксах не теряют своей актуальности и ведутся с неослабевающей активностью во всем мире.

Количественные потребности рыб в отдельных минеральных элементах также остаются недостаточно изученными, невзирая на большое число исследований, особенно в последние 10–15 лет. Это связано не только с наличием у рыб, кроме алиментарного, осмотического пути их поступления в организм, но и со сложностью взаимоотношений минералов между собой, а также их взаимодействием с солевым составом воды. В этом плане еще предстоит большая работа, так как минеральные вещества, являясь основой скелета, присутствуя в составе всех тканей и жидкостей, а также простетических групп многих ферментов, относятся к важнейшим факторам роста не только минеральной, но и органической части животного организма. Особое внимание придается разработке витаминно-минеральных премиксов как наиболее экономичного способа введения в комбикорма микродобавок.

Сведения об отдельных эссенциальных жирных кислотах и количественных потребностях в них тепловодных, холодноводных и морских рыб не имеют подобного разнобоя. Исследования об оптимальных соотношениях в диетах отдельных видов жиров различного происхождения и белка активно продолжаются во всем мире, так как показано, что белоксберегающее действие жиров позволяет добиться резкого сокращения использования белка корма на энергетический обмен у рыб. Одновременно это приводит к сокращению уровня сырого протеина в комбикормах и их удешевлению при одновременном снижении затрат белка и корма в целом на производство продукции.

В отношении энергии и ее оптимального содержания идут постоянные дебаты, так как ее основные источники: жиры, белки и углеводы – не равноценны по своей энергетической и пластической значимости. Тем более, что сюда примешивается воздействие технологической обработки, влияющей на физико-химические свойства углеводов и белков и их доступность для организма рыб. Различия в их составе и соотношениях могут иметь как синергические, так и антагонистические эффекты. Обобщение и анализ собственных и литературных данных показали, что наиболее информативным следует признать отношение протеин-энергия, которое выражается в миллиграммах переваримого белка, приходящегося на 1 кДж переваримой энергии корма.

Как указывалось выше, особенно на примере витаминов, для всех питательных веществ часто смешиваются понятия "чистой" и "рекомендуемой" потребности. В то же время, если под "чистой" потребностью подразумевается минимальное количество вещества, обеспечивающее нормальный рост рыб в оптимальных условиях среды, то "рекомендуемая" потребность увеличивается на определенный запас. Последний необходим из-за возможных вариаций сырья, взаимодействия питательных веществ при смешивании компонентов и изготовлении кормов, их потерь при хранении, изменений в состоянии здоровья рыб, частоты и силы стрессовых ситуаций.

Следует также отметить недостаточную изученность количественных связей между потребностями рыб разного возраста в питательных веществах и экологическими, а также трофическими условиями. Исследования в этом отношении продолжаются. Недостаточны знания о потребностях производителей в отдельных питательных веществах, витаминах и минералах, а также их роли в процессе созревания половых продуктов.

Таким образом, для исследователей в плане определения потребностей рыб в питательных веществах открыто широкое поле деятельности. Детализация сведений в видовом, возрастном, экологическом и продукционном аспектах позволит существенно повысить эффективность кормления рыб при управляемых режимах выращивания.

Глава 2
Переваривание пищи в организме рыб

В процессе пищеварения происходит механическое измельчение пищи, физико-химическое изменение ее структуры и гидролиз с образованием мономеров. В то же время прием пищи, ее переваривание и всасывание представляют собой начальные этапы координированных и взаимообусловленных биофизических и биохимических процессов, происходящих в организме. Их дальнейшими звеньями являются обмен веществ в тканях и выделение продуктов катаболизма. Перед всасыванием различные виды пищи, подвергаясь механической и ферментативной обработке, расщепляются до мономеров, лишенных видовой специфичности, а витамины и минеральные элементы из неусвояемых или трудно усвояемых соединений переходят в доступные формы. Следует отметить, что устранение видовых специфических свойств чужеродных белков в результате их расщепления составляет одну из важных физиологических функций пищеварения. Во время переваривания пищи происходит многократный кругооборот различных соединений между кровью, лимфой и пищеварительными органами.

2.1. Строение и работа пищеварительной системы

Пищеварительный аппарат у рыб в общих чертах имеет типичное для всех позвоночных строение: рот и ротовую полость, глотку, пищевод, желудок, кишечник, железистую систему, печень. Отличительными особенностями являются отсутствие слюнных желез, слабая дифференциация кишечника, отсутствие на нем ворсинок, диффузное в ряде случаев расположение поджелудочной железы, образующей с печенью слитный орган – гепатопанкреас. У некоторых систематических групп (сем. Cyprinidae и Labridae) отсутствует желудок. У многих хищных рыб, имеющих желудок, в части кишечника, непосредственно прилегающей к желудку, есть слепые выросты – пилорические придатки. В ряде случаев к пищеварительным органам рыб относится жаберный аппарат, образования которого – жаберные тычинки – обеспечивают функцию захвата и фильтрации пищи.

Несмотря на наличие структурно-функциональных особенностей пищеварительной системы у рыб различных таксономических и экологических групп, основные принципы ее функционирования обнаруживают большое сходство как между группами, так и между высшими позвоночными. Это относится к продвижению пищи и формированию химуса, работе пищеварительных желез и ферментных систем, расщеплению и всасыванию питательных веществ, их поступлению во внутреннюю среду организма, процессам экскреции, нейрогуморальной регуляции [Уголев, 1967, 1985; Уголев, Кузьмина, 1993; Щербина, 1980, 1984; Кузьмина, 1995; Guillaume, Choubert, 1999].

По типу питания рыбы делятся на три основные группы: хищные и мирные плотоядные, растительноядные и детритофаги, всеядные*.

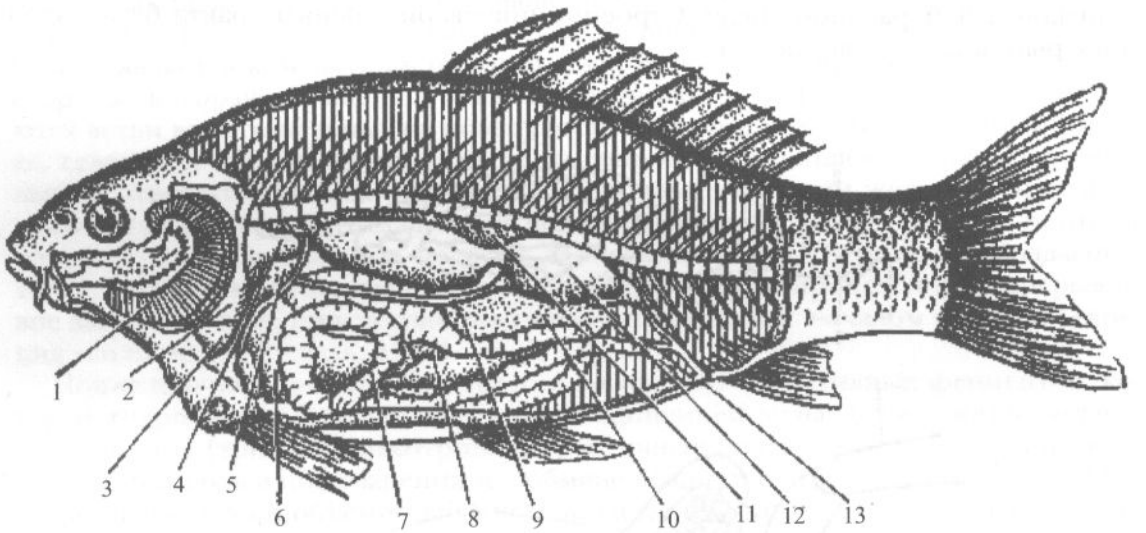
* Исключая хищничество.

Характер питания и филогения видов накладывают отпечаток на строение пищеварительного аппарата. Наибольшей адаптивной изменчивости подвержены рот, ротовая полость и глотка. Хищные рыбы, как правило, имеют большой рот и обширную ротовую полость, снабженную многочисленными и крепкими челюстными зубами. Форма и расположение зубов приспособлены для захвата, ранения и удержания жертвы. Бентосоядные рыбы (например, карп) могут иметь выдвижной рот и мощные глоточные зубы, которые способны дробить и перетирать жесткую пищу. Жаберные тычинки могут играть большую роль в захвате пищи у планктоноядных рыб. С их помощью задерживается процеживаемый планктон или детрит и удаляется вода.

Наиболее характерным признаком хищных рыб является наличие хорошо развитого желудка и связанного с ним пепсинового пищеварения в солянокислой среде. Его величина находится в прямой зависимости от размеров потребляемых пищевых организмов. У большинства хищных рыб вблизи желудка в передней части кишечника имеются особые образования, называемые пилорическими придатками (числом от 2–3-х до 400). У осетровых они срастаются вместе, образуя "железистый орган". У безжелудочных рыб все пищеварение происходит в кишечнике.

Известно, что рыбы как пластичные животные, особенно виды, подвергавшиеся длительной доместикации, обладают хорошей приспособляемостью к качеству пищи и условиям питания и достаточно быстро адаптируются к физико-химическим особенностям корма путем изменения структуры и функций пищеварительного аппарата.

На примере таких двух основных объектов аквакультуры, как карп и радужная форель более детально будут рассмотрены особенности работы пищеварительной системы у рыб, не имеющих желудка и обладающих им. На рис. 3 показано схематическое расположение их внутренних органов.



А

Рис. 3. Общая схема расположения внутренних органов у рыб [по Кох, 1980]:
А – карп (*1* – жабры; *2* – плечевой пояс; *3* – сердце; *4* – головная почка; *5* – диафрагма; *6* – печень; *7* – кишечник; *8* – селезенка; *9* – воздушный проход; *10* – гонады; *11* – почки; *12* – плавательный пузырь; *13* – анальное отверстие);

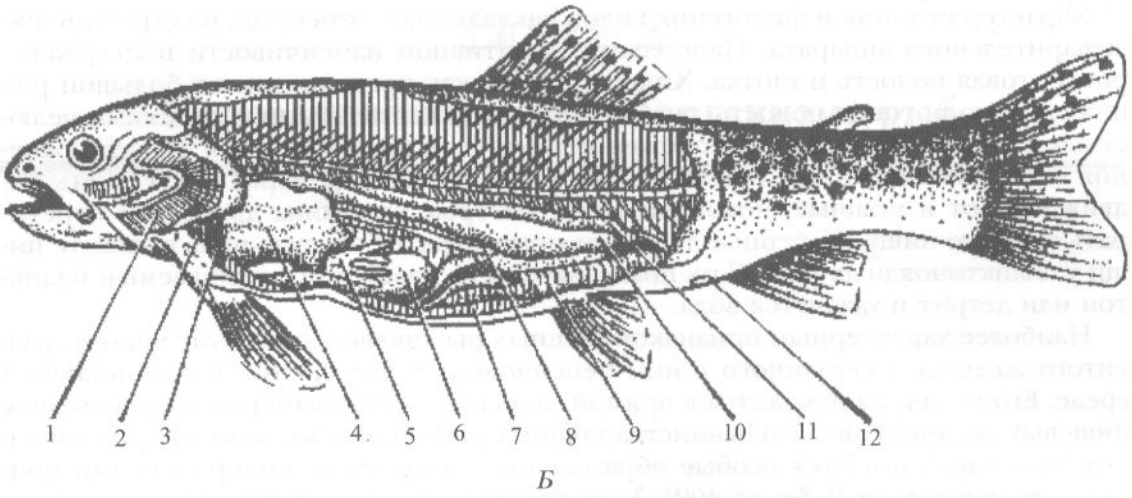


Рис. 3. Окончание. Общая схема расположения внутренних органов у рыб [по Кох, 1980]:
Б – форель (*1* – жабры; *2* – сердце; *3* – диафрагма; *4* – печень; *5* – пилорические придатки; *6* – желудок; *7* – селезенка; *8* – гонады; *9* – кишечник; *10* – плавательный пузырь; *11* – почки; *12* – анальное отверстие)

2.1.1. Карп

Теплолюбивый карп – полифаг, относится к бентосоядным рыбам с широким спектром питания и непрерывным потреблением пищи. Во взрослом состоянии он может использовать детрит и растительность, что послужило биологическим обоснованием для применения кормов растительного происхождения при его выращивании. Все пищеварение осуществляется в кишечнике в щелочной или близкой к нейтральной среде. Строение пищеварительного тракта безжелудочных рыб показано на рис 4,*А*.

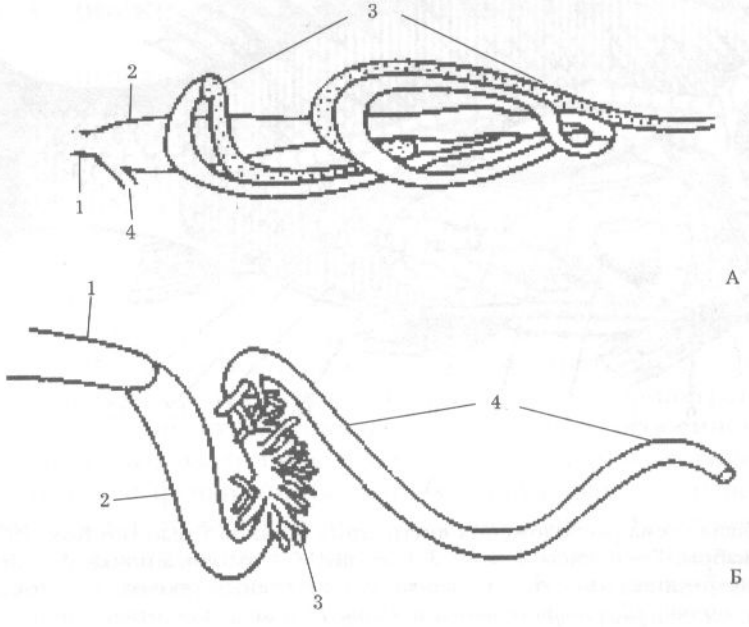


Рис. 4. Схема строения пищеварительного тракта у форели и карпа [по Gas et Noaillac-Depeyre, 1981]:
А – карп (*1* – пищевод; *2* – передняя расширенная часть кишечника (бульба); *3* – петли средней и задней частей кишечника; *4* – гепатопанкреатический проток)
Б – форель (*1* – пищевод; *2* – желудок; *3* – пилорические придатки; *4* – кишечник);

Строение ротовой полости и отсутствие челюстных зубов и слюны исключают возможность существенной переработки пищи во рту. Заглоченную пищу карп измельчает с помощью глоточных зубов, которые способны перетирать твердые частицы до очень мелких размеров при многократно повторяющихся захватах и выплевывании.

Из глотки пища поступает в короткий пищевод, а затем – в кишечник. Кишечник у карпа представляет длинную, в передней части заметно расширенную, а затем постепенно суживающуюся трубку, которая образует 8 петель. Длина кишечника превышает длину тела в 2–3 раза. Слизистая оболочка образует на его поверхности ячеистую структуру. Высота и число складок в переднем отделе приблизительно в 2 раза больше, чем в последующих. Складки увеличивают всасывающую поверхность кишечника в 9–12 раз [Ланге, 1948].

При наполнении пищей передняя часть кишечника способна сильно растягиваться, резко увеличиваясь в объеме. В связи с отсутствием сфинктеров пища непрерывно поступает в последующие его участки. Скорость продвижения пищи по кишечнику находится в прямой зависимости от температуры воды и в определенной связи с концентрацией кислорода и массой рыб. В качестве иллюстрации приводим диаграмму (см. рис. 1 Приложения), составленную Н.В. Рекубратским на базе экспериментальных данных [Рекубратский и др., 1985].

Проглоченная пища быстро вступает в контакт с желчью и пищеварительными соками, превращаясь в химус. Процесс переваривания происходит в среде с высоким и относительно постоянным содержанием воды (79–87%) при максимуме в переднем отделе. Реакция среды колеблется в пределах pH 6,1–7,6. Биохимический состав химуса, зависящий от уровня питательных веществ в корме, имеет определенные тенденции изменений: снижение к анусу относительного содержания в сухом веществе азотистых соединений и липидов и возрастание углеводов и минеральных элементов. При низком уровне в корме протеина (< 15%), липидов (< 2%), а также минеральных элементов их процент в химусе переднего отдела, как правило, существенно выше, чем в корме.

Главный источник пищеварительных ферментов – поджелудочная железа. Она не является компактным органом, а вкраплена в ткань печени (особенно со стороны, которая обращена к петлям кишечника) и встречается всюду, где имеются ветви воротной вены (на поверхности кишечника, в его мышечной оболочке, селезенке, печени и внутри ее). Она сопровождает кишечник вплоть до анального отверстия. Главный проток впадает вместе с общим желчным протоком сразу же за пищеводом недалеко от передней границы кишки. Мелкие протоки изливают свое содержимое по всей длине кишечника [Веригина, Жолдасова, 1982]. Отделение поджелудочного и кишечного соков происходит непрерывно вне зависимости от присутствия или отсутствия пищи. С началом питания секреция усиливается [Пегель, 1950].

Поджелудочная железа выделяет три группы высокоактивных ферментов, которые гидролизуют (расщепляют с присоединением воды) белки, жиры, углеводы: протеазы (трипсин, химотрипсин, различные пептидазы), амилазу, липазу.

Большую роль в пищеварении и в обмене веществ в целом играет печень. Она представляет собой объемистый многолопастной орган, в который погружен кишечник. Желчный пузырь помещается на внутренней стороне главной дольки печени и полностью покрыт ею. Главный секрет печени – желчь. Выделяясь непрерывно, она при ограничении или отсутствии пищи концентрируется в желчном пузыре.

Желчь, облегчая всасывание жиров, одновременно стимулирует секреторную функцию поджелудочной железы, а также тонус и моторику переднего отдела кишечника и препятствует развитию гнилостной микрофлоры.

Другим важным источником пищеварительных ферментов служит слизистая оболочка кишечника. Ее железы выделяют слизь, содержащую мукополисахариды, которая обволакивает пищу и облегчает ее продвижение по кишечнику.

На всем протяжении кишечника его поверхность выстлана высоким однослойным цилиндрическим каемчатым эпителием, клетки которого называются энте-

роцитами или эпителоцитами. Они продуцируют ферменты, которые выделяются в полость или попадают туда со слущивающимся эпителием. Обновление энтероцитов передней половины кишечника, осуществляющей наиболее активное пищеварение, у карповых рыб происходит за неделю, задней – за 5–7 недель. При этом весной и летом скорость обновления выше, чем зимой. Энтероциты кишечника карпа имеют строение, сходное с их строением у высших позвоночных [Noaillac-Depeyre, Gas, 1973].

С помощью панкреатических и кишечных ферментов осуществляется полостное пищеварение. Сущность его заключается в том, что в полости кишки происходит ферментативное расщепление пищи, и когда его продукты достигают поверхности слизистой оболочки, начинается всасывание нутриентов (питательных веществ, расщепленных до мономеров, т. е. аминокислот и жирных кислот, моносахаридов, витаминов и т. д.).

Часть ферментов, секретируемых кишечными клетками, и ферментов панкреатического происхождения адсорбируется на выростах внешней поверхности энтероцитов – "щеточной кайме" или "микроворсинках", покрытых гликокаликсом – дополнительным предмембранным слоем из тонких извитых нитей, которые заполняют и поры между микроворсинками (рис. 5).

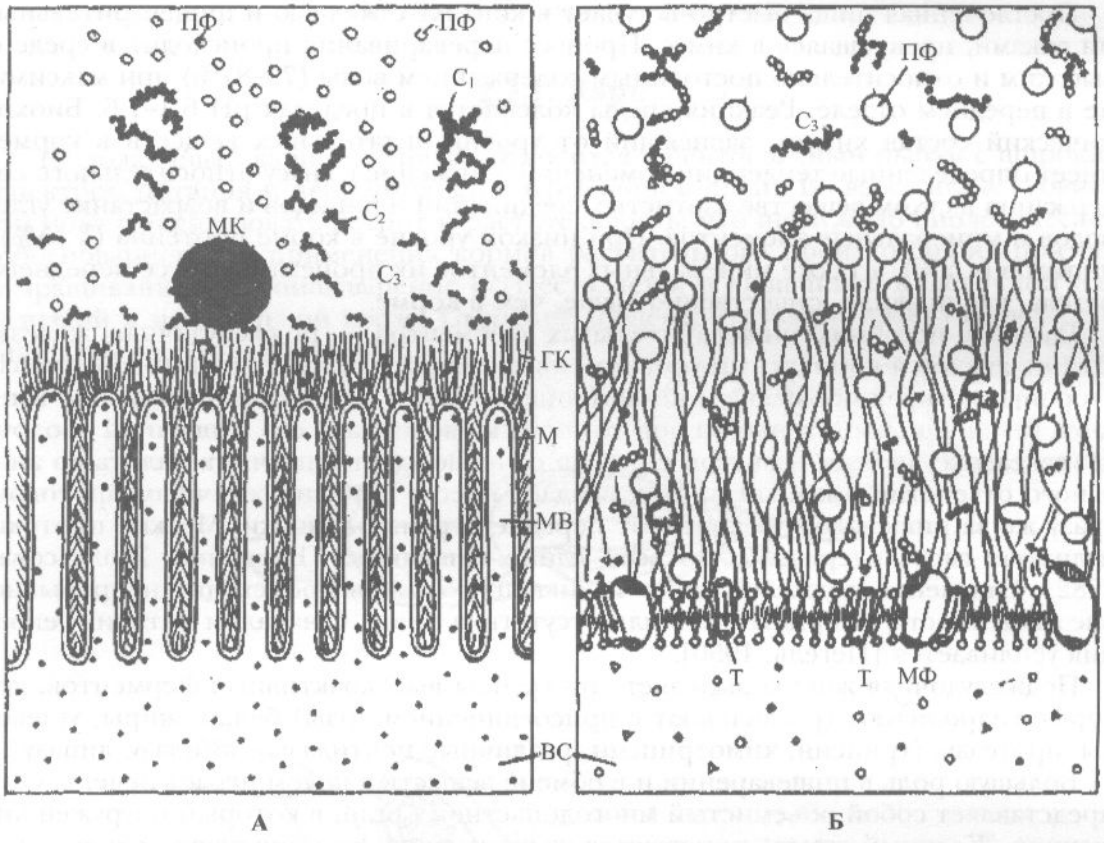


Рис. 5. Схема взаимодействия между полостным и мембранным пищеварением в кишечнике [по А.М. Уголеву, 1986]:

А – начальная стадия расщепления пищевых веществ (C_1–C_2) в полости и на поверхности кишечной клетки под действием полостных ферментов (ПФ); *Б* – зона щеточной каймы, состоящая из микроворсинок (МВ), покрытых гликокаликсом (ГК), куда проникают наиболее мелкие молекулы (C_3). Здесь под действием полостных (ПФ) и мембранных ферментов (МФ) завершается расщепление пищевых частиц до мономеров. Далее начинается их перенос через мембрану (М) во внутреннюю среду клетки (ВС) путем диффузии или активного всасывания, которое происходит посредством транспортных систем (Т) мембраны. МК – микробная клетка, не прошедшая через поры щеточной каймы

Микроворсинки являются структурной основой другого мощного механизма пищеварения, свойственного всем позвоночным. Он был открыт А.М. Уголевым в конце 50-х годов и имеет несколько названий, отражающих его сущность: "пристеночное", "контактное", "мембранное" [Уголев, 1960].

Этот тип пищеварения играет промежуточную роль в механизме усвоения пищи. Он осуществляется с помощью ферментов, адсорбированных на микроворсинках, т.е. на границе внеклеточной и внутриклеточной сред. Микроворсинки образуют на поверхности мембран энтероцитов ультрапористость, что в десятки раз увеличивает поверхность контакта пищи со всасывающими клетками. Таким образом создаются структурные предпосылки для быстрого расщепления и одновременно всасывания биополимеров в этой зоне. В результате процессы гидролиза и транспорта становятся сопряженными в пространстве и времени.

Между полостным и мембранным пищеварением существуют определенные взаимоотношения. В начальных отделах пищеварительного тракта (ротовой полости, глотке, пищеводе, желудке) пища, представляющая собой животные и растительные ткани, подвергается первичной механической и химической обработке. Ферменты, находящиеся в полости, через поврежденные клеточные оболочки тканей пищи быстро расщепляют клеточное содержимое на крупные и мелкие фрагменты. Продукты распада диффундируют за пределы клеток пищи и, передвигаясь с помощью перистальтики, достигают поверхности слизистой оболочки. Здесь в зоне пристеночного пищеварения измельченные частицы подвергаются окончательному гидролизу с последующим всасыванием в зоне микроворсинок. Крупные частицы (более 100–200 Å) отбрасываются в полость кишечника и вновь подвергаются воздействию полостных ферментов (см. рис. 5).

Перенос продуктов ферментативного расщепления через клеточную оболочку происходит как путем пассивного (т. е. диффузии), так и активного транспорта с помощью узкоспециализированных переносчиков (массой 10–70 тыс. Да), связывающих и перемещающих мономеры через мембраны с затратой энергии АТФ.

Первые сведения о наличии у рыб мембранного пищеварения на примере взаимодействия гидролитической и транспортной функции углеводов в кишечнике карпа были опубликованы Ш.А. Берман в 1964 г. К настоящему времени в этом направлении накоплен большой экспериментальный материал. Активные работы ведутся в институте биологии внутренних вод АН России [Уголев, Кузьмина, 1993; Кузьмина, 1995 и др.]

Переваривание пищи. Ранее предполагалось, что ферментативное расщепление и всасывание питательных веществ в пищеварительном тракте рыб разделены в пространстве и времени [Карзинкин, 1932; Пегель, 1950; Краюхин, 1963]. Однако благодаря использованию метода инертных веществ, позволившего количественно охарактеризовать степень переваривания основных нутриентов на последовательных участках пищеварительного тракта рыб, было показано, что всасывание продуктов расщепления питательных веществ происходит на всем протяжении кишечника [Щербина, 1967, 1969, 1970, 1971, 1973, 1975, 1980, 1983–1984].

С позиций пристеночного пищеварения получил объяснение факт очень интенсивной резорбции нутриентов в передней расширенной части кишечника карпа, на которую приходится около 14% его длины. Здесь извлекается из пищи и всасывается в среднем около 1/4 сухих веществ, доступных рыбам, в том числе около 25% белка, от 20 до 80% отдельных аминокислот, до 90% простых сахаров, большое количество липидов. Таким образом, передний расширенный отдел кишечника, помимо депонирующей, активно осуществляет гидролитическую и резорбтивную функции. Высокая интенсивность всасывания органических веществ сохраняется еще на протяжении 1/3 длины кишечника. Объем резорбции азотсодержащих веществ и аминокислот может быть несколько выше или ниже. Преимущественно здесь локализован максимум всасывания липидов. Возрастает интенсивность всасывания магния, кальция и других минералов. Из этого следует, что отсутствие у карпа желудка и связанного с ним пепсинового пищеварения не замедляет, как предполагалось ранее [Карзинкин, 1950; Краюхин, 1963], тем-

пов переваривания белков, липидов, полисахаридов, а также всасывания аминокислот и моносахаридов. Протео- и амилолитические ферменты, работающие в слабокислой и слабощелочной среде, гидролизуют белки и углеводы с очень высокой скоростью, обеспечивающей их столь же интенсивную резорбцию. Далее она резко сокращается и активизируется резорбция минеральных веществ.

В конечных участках кишечника (~10% его длины) завершаются процессы всасывания расщепленных питательных веществ. Идет активное всасывание воды, и пищевой химус превращается в экскременты – остатки непереваренной пищи, отмершие клетки кишечного эпителия, эндогенные вещества и бактериальную массу. Они обволакиваются большим количеством слизи и удаляются из организма под действием перистальческих движений кишечника. В экскрементах содержится более 85% воды, в их сухом веществе находится 7–17% сырого протеина (нередко и более), 50% и более углеводов, 15% и более минеральных веществ. Выделяются экскременты через анальное отверстие практически непрерывно.

2.1.2. Форель

Радужная форель – холодноводная рыба, пелагический хищник с порционным питанием. При недостатке излюбленных объектов быстро переходит на питание другими формами, относительно легко подвергается доместикации. Имеет хорошо развитый желудок и большое число пилорических придатков. Обладает типичным для позвоночных последовательным пищеварением в кислой и щелочной среде.

Строение органов пищеварения. Схема пищеварительных органов лососевых рыб в обобщенном виде представлена на рис. 3 и 4. Мелкие и острые челюстные зубы позволяют захватывать, разрывать и удерживать пищу, не допуская ее пережевывания. За ротовой полостью следует глотка, имеющая многочисленные железистые клетки, выделяющие слизь, которая облегчает заглатывание жертвы. Глотка переходит в короткий мускулистый пищевод, впадающий в желудок. Сифонообразный желудок обладает хорошо развитой мускулатурой. Он совмещает депонирующие и пищеварительные функции. Слизистая оболочка имеет мощный железистый аппарат, занимающий 80% площади, а также многочисленные продольные складки. За счет этих складок желудок при наполнении пищей способен сильно растягиваться. Пища переваривается желудочным соком, содержащим HCl и ферменты и превращается в химус. Состав желудочного секрета соответствует качеству и количеству пищи. Механическая обработка (перетирание) пищи происходит при сокращении мышц желудка одновременно с ее химической обработкой. Реакция среды в желудке у голодных рыб щелочная или слабокислая. С началом питания она подкисляется до pH 4,0 и выше. При адаптации к сухим гранулированным комбикормам pH снижается до 5,0. Химус переодически порциями эвакуируется в кишечник.

Кишечник представляет собой короткую трубку, отношение длины которой к длине рыбы составляет 0,7–1,0. Реакция среды определяется pH желчи и изменяется в узком диапазоне – от 7,7 до 8,3. Эпителий всех отделов кишечника состоит из энтероцитов и многочисленных железистых бокаловидных клеток, которые вырабатывают слизь, способствующую прохождению пищевого комка по кишечнику. Пилорические придатки в количестве 40–50 отходят от переднего отдела кишечника в непосредственной близости от желудка. Их общая длина превышает длину кишечника приблизительно в 6 раз. Поверхность их слизистой оболочки в 3 раза больше поверхности тонкой кишки и в 2 раза – кишечника в целом. Структура эпителия пилорических придатков сходна со строением слизистой переднего отдела кишечника [Bergot et al., 1975].

За передним отделом кишечника следуют средний и задний. Слизистая оболочка задней (толстой) кишки имеет хорошо выраженную спиральную складку, увеличивающую поверхность слизистой и замедляющую скорость прохождения пищи. По ультраструктуре энтероциты форели сходны с энтероцитами карповых рыб и высших позвоночных [Yamamoto, 1966].

Печень у форели, как и у других лососевых, достаточно компактная и объемистая с небольшим числом долек. Желчный пузырь располагается на ее внутренней стороне. Диффузная поджелудочная железа образует с печенью единую структуру и открывается общим гепатопанкреатическим протоком непосредственно за желудком.

Пищеварительный аппарат у форели выделяет, так же как и у других рыб, ферменты, расщепляющие основные группы органических веществ: протеазы, амилазы и липазы. Наиболее активный фермент желудка – пепсин с оптимумом действия в пределах pH 2–4. Кислая реакция среды обеспечивается секрецией HCl. Соляная кислота растворяет кальций чешуи, костей, панцири ракообразных и насекомых, деструктурирует пищевые организмы, активизирует кислые протеазы (пепсин, коллагеназы и др.), которые осуществляют начальный гидролиз белков и поверхностных, костных, мышечных и соединительных тканей [Хасимото и др., 1975].

В желудке обнаружены также амилаза и липаза, активность которых значительно ниже ферментов панкреатического происхождения, а также хитиназа, расщепляющая структурный полисахарид насекомых – хитин [Kapoor et al., 1975].

Поджелудочная железа выделяет высокоактивные ферменты типа трипсина, химотрипсина, а также липазу и амилазу, активность последней ниже, чем у карпа. В экстрактах слизистой оболочки обнаружены трипсиноподобные ферменты, эндопептидазы, амилаза, мальтаза, липаза. В пилорических придатках ферментативная активность очень высока и превышает значения, найденные для среднего отдела кишечника.

По данным И.Н. Остроумовой [1976а], пищеварительная система форели достаточно быстро реагирует на физико-химические особенности пищи. При питании форели сухим гранулированным кормом, по сравнению с пастообразным, происходит достоверное удлинение желудочно-кишечного тракта. Преобладание в комбикормах растительных компонентов приводит к его удлинению на 25%, а животных компонентов – на 12–19%. Было обнаружено, что наибольшее удлинение встречается у быстрорастущих рыб. Это позволило сделать вывод, что проявляющаяся на морфологическом уровне быстрая приспособляемость к качеству корма приводит к более эффективному его использованию на рост рыб за счет увеличения поверхности всасывания и удлинения времени пищеварения.

Переваривание пищи. Как показали наши исследования [Трямкина, 1977; Щербина, Трямкина, 1973, 1973а; Щербина, 1980, 1984], у форели переваривание биополимеров и всасывание продуктов их расщепления происходит, как и у карпа, на всем протяжении пищеварительного тракта в среде с высоким содержанием воды. Биохимический состав химуса при общей тенденции к снижению концентрации всех нутриентов к анусу имеет наибольшие колебания в желудке. Они зависят от состава корма, времени пищеварения и сроков адаптации к пище. Содержимое различных отделов кишечника характеризуется относительным постоянством, обнаруживая тенденцию к снижению концентрации азотсодержащих веществ и липидов, а также к увеличению концентрации углеводов и минеральных элементов к концу кишечника [Трямкина, 1977].

Традиционно полагалось, что желудок служит депонирующим органом, где идет только первичная обработка пищи HCl и ферментами, осуществляется денатурация белка и гидролиз его поверхностных связей. Однако было установлено, что желудок принимает активное участие и во всасывании [Щербина, Трямкина, 1977]. Здесь может быть резорбировано до 29% белков, 44% липидов, 26% углеводов от их общего количества, полученного с пищей. В то же время основным местом всасывания является передний отдел кишечника и область, примыкающая к пилорическим придаткам, где при определенных условиях может быть резорбировано до 90% белков, жиров и углеводов от их общего количества, которое доступно рыбам из пищи. Максимум всасывания липидов строго локализован в области пилорических придатков.

Максимумы всасывания других питательных веществ могут располагаться в центральной части кишечника и сдвигаться в сторону пилорических придатков

при адаптации рыб к корму. В задней части кишечника, ведущей к анусу, объем всасывания обычно резко сокращается. Однако и здесь в отдельные моменты может быть резорбировано значительное количество белков и углеводов.

2.2. Судьба питательных веществ после всасывания

Из клеток кишечного эпителия нутриенты поступают в кровеносные и лимфатические капилляры. Из кровеносных капилляров они переносятся в печеночную вену и доставляются в печень, откуда после различных превращений или без них по кровеносной системе поступают в ткани.

В печень попадает до половины моносахаридов, всосавшихся в кишечнике. Одна часть моносахаридов идет на синтез гликогена, а другая поставляется в ткани организма для использования в энергетических целях. В виде аминокислот в печень поступает около 90% белков, гидролизованных в пищеварительном тракте. Одна часть белков в свободном состоянии постоянно циркулирует в плазме крови, формируя пул свободных аминокислот, другая часть переходит в клетки организма, где синтезируются специфические белки тканей. Некоторое количество белка задерживается в печени, и из него создаются белки крови.

Печень играет большую роль в дезаминировании избыточных пищевых аминокислот, превращая их в аммиак, мочевину, мочевую кислоту и другие продукты распада азотсодержащих веществ, которые поступают в кровь и далее экскретируются из организма через органы выделения. Здесь же осуществляются и другие превращения аминокислот (трансаминирование, декарбоксилирование). Углеродные остатки аминокислот (кето- и оксикислоты) используются для синтеза углеводов и жиров.

В циркулирующую кровь аминокислоты поступают из всех органов, где они непрерывно освобождаются в результате распада тканевых белков. В то же время все ткани поглощают аминокислоты через межклеточную жидкость и используют их для построения своих специфических белков и других азотсодержащих элементов. В результате этих противоположно направленных процессов содержание аминокислот в крови поддерживается на относительно постоянном уровне, из них формируется так называемый пул свободных аминокислот – один из важнейших элементов поддержания гомеостаза в организме.

Из пищевых жиров печень синтезирует и накапливает специфические для организма липиды, продуцирует и регулирует выделение в кровь липидов плазмы, а также влияет на размещение жиров в организме путем мобилизации тканевых запасов. Липиды, которые поступают из кишечника в лимфу и минуют печень, не подвергаются перестройке и в неизмененном виде откладываются в жировых депо различных тканей.

В печени происходит обезвреживание ядовитых веществ, образующихся в процессах обмена, а также ядов, попадающих с пищей, которые в неактивном состоянии выделяются вместе с желчью.

2.3. Эндогенная экскреция

Поступление корма в пищеварительный тракт рыб сопровождается выделением в его полость из внутренней среды организма различных веществ не кормового происхождения. С одной стороны, это связано с секрецией слизи, соков пищеварительных желез, наличием отторгнутых клеток слизистой кишечника и микрофлоры. С другой – выделением эндогенных соединений обменного происхождения, которые поступают через кровь, с пищеварительными соками и желчью.

В количественном отношении второй тип эндогенной экскреции в значительной степени превышает объемы первого.

Феномен эндогенной экскреции был обнаружен нами в 70-х годах прошлого столетия как у не имеющего желудка, непрерывно питающегося полифага карпа,

так и у порционно питающейся хищной форели, обладающей желудочно-кишечным пищеварением [Щербина, 1973а, 1980; Щербина, Трямкина, 1973; Трямкина, 1977] (рис. 6).

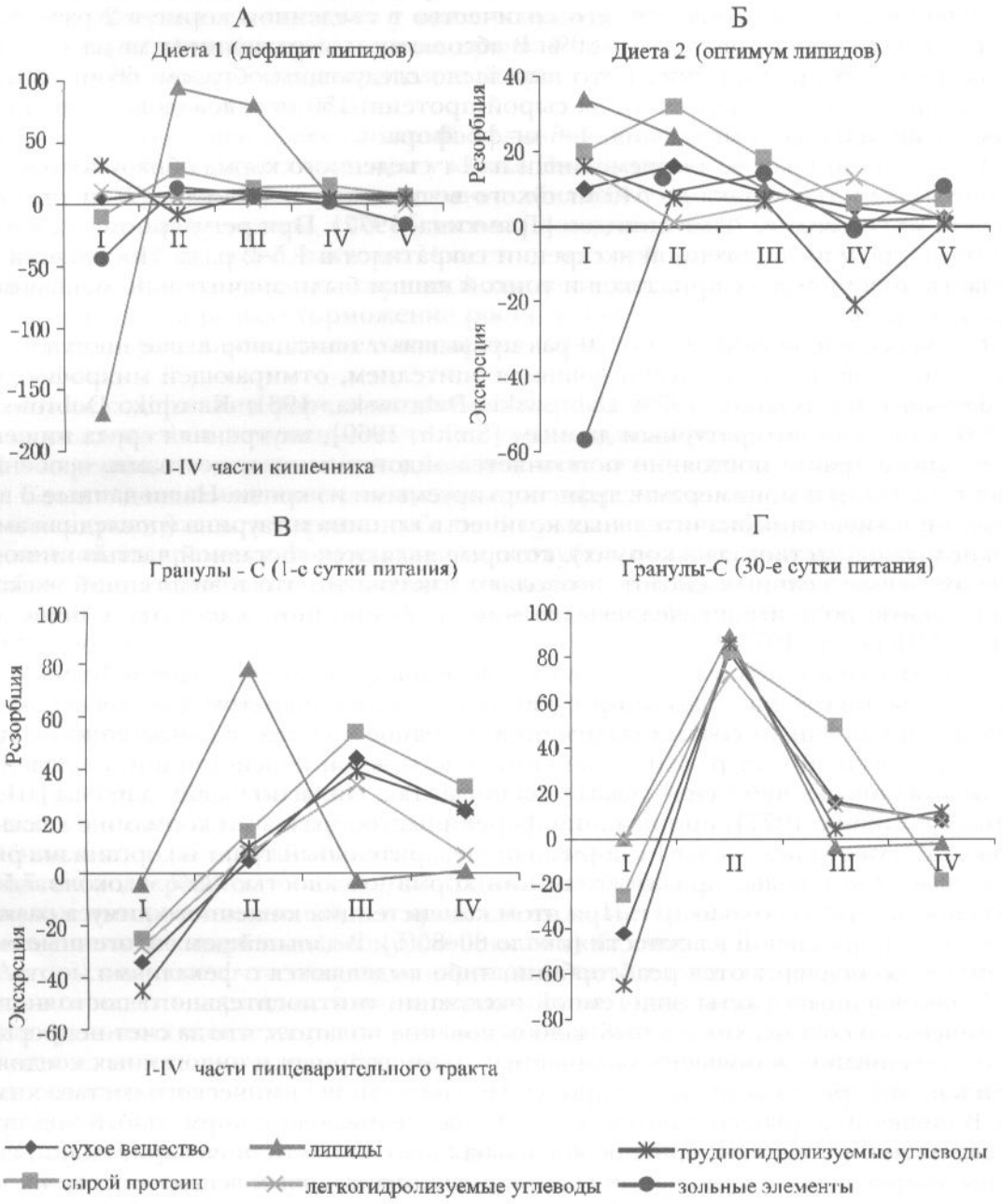


Рис. 6. Резорбция и экскреция нутриентов в пищеварительном тракте:
карпа *А, Б* (I – желудок, II – область пилорических придатков,
III – тонкая кишка, IV – толстая кишка);
форели *В, Г* (I – 13,5% длины кишечника, II – 25,5% длины кишечника,
III – 25,5% длины кишечника, IV – 25,5% длины кишечника,
V – 10% длины кишечника)

Было установлено, что наибольшая интенсивность экскреции этого типа наблюдается в передних отделах пищеварительного канала. Процесс тесным образом связан с качественным и количественным составом корма и более выражен при резком недостатке или избытке питательных веществ, т.е. в случае несбалансированности питания. Согласно нашим наблюдениям, у карпа при низком уров-

не белков в диете (<15%) количество выделенного эндогенного азота достигало 25% съеденного.

При наличии в диете менее 2% липидов, их количество в кишечнике было большим, чем поступившее с кормом, в 2–2,5 раза. Наблюдавшееся максимальное выделение кальция превысило его количество в съеденном корме в 2 раза, магния – на 60%, фосфора – на 40–60%. В абсолютном выражении (в мг на 1 г сухого вещества съеденной пищи) это выглядело следующим образом: 66 мг азотсодержащих веществ в пересчете на сырой протеин, 150 мг углеводов, 33 мг липидов, 25 мг кальция, 4 мг магния, 4–6 мг фосфора.

У форели при разовом приеме пищи на 1 г съеденного корма обнаружено выделение в полость желудка до 640 мг сухого вещества, в том числе 160 мг протеина, 140 мг углеводов, 72 мг липидов [Трямкина, 1977]. При регулярном 2-разовом питании уровень эндогенной экскреции сократился в 1,5–2 раза. Поступления в область пилорических придатков и тонкой кишки были значительно меньшими, чем в желудок.

Приведенные величины в 6–20 раз превышают описанное выше поступление эндогенных веществ со слущивающимся эпителием, отмирающей микрофлорой и ферментами [Ogino, 1973; Dabrowski, Dabrowska, 1981; Kaushik, Dobrowski, 1983]. Согласно литературным данным [Smith, 1969], внутренняя среда пищеварительного тракта постоянно пополняется эндогенными веществами, особенно электролитами и мономерами, транспортируемыми из крови. Наши данные о выделении в кишечник значительных количеств глицина и таурина (последняя аминокислота отсутствовала в кормах), которые являются составной частью глико- и таурохолевых желчных кислот, позволяют заключить, что в эндогенной экскреции важную роль играет желчевыделение, особенно при недостатке в пище липидов [Щербина,1973а].

Значительный объем поступающих в желудок форели углеводов и белков связан с секрецией слизи, продуцируемой железистым аппаратом. Со слизью, желудочным и кишечным соками выделяется основное количество эндогенной воды, которая обеспечивает разжижение химуса до нужной консистенции. Выделение воды тем больше, чем менее увлажнена пища. Так, согласно нашим данным [Щербина, Трямкина, 1977], при питании форели пастообразными кормами с влажностью 45%, уже через час на 1 г корма в пищеварительный тракт из организма рыб поступает 4–6 г воды, при заглатывании корма влажностью 35% – около 7,5 г, влажностью 10% – около 10 г. При этом консистенция кишечного химуса разжижается до нормальной влажности (около 80–85%). В дальнейшем эндогенные экскреты либо подвергаются реабсорбции, либо выделяются с фекалиями.

Установленные факты эндогенной экскреции и относительного постоянства химического состава химуса рыб дали основание полагать, что за счет непрерывного смешивания в больших количествах алиментарных и эндогенных соединений в пищеварительном тракте происходит регуляция химического состава химуса. В кишечнике рыб создаются условия, обеспечивающие нормальный ход процесса пищеварения. Эта приспособительная деятельность пищеварительной системы корригирует соотношение всасываемых питательных веществ путем их пополнения физиологически необходимыми соединениями, которые либо отсутствуют, либо содержатся в пище в недостаточных количествах. В результате всасываемая смесь приближается к потребностям рыб в нутриентах [Щербина, 1973а, 1980, 1984].

Подобное выделение в полость пищеварительного тракта эндогенных веществ, которые после реабсорбции вновь включаются в кругооборот в организме, способствует нормальному осуществлению химических процессов и в тканях. Посредством этого процесса пищеварительная система рыб, помимо осуществления ранее известных функций, связанных с перевариванием и усвоением пищи (секреция соков, расщепление, всасывание, моторика, выделение), выполняет и обменные функции, направленные на поддержание постоянства концентраций веществ в крови и других средах, составляющих внутреннюю среду организма.

Открытый у рыб феномен эндогенной экскреции позволяет говорить, что та совершенная форма участия пищеварительного аппарата в общем обмене веществ, которая обнаружена у сельскохозяйственных животных [Разенков,1948] и значительно позже – у человека [Шлыгин, 1974, Гальперин, Лазарев, 1986], достаточно хорошо выражена уже у низших позвоночных. Коррегирующая функция пищеварительной системы четко проявляется уже у карпа, имеющего слабо дифференцированный пищеварительный тракт, вся деятельность которого осуществляется только в кишечнике.

У форели, имеющей более сложный желудочно-кишечный тракт, элементы регуляции выражены отчетливее, чем у карпа. Эволюционно выработанная адаптация форели как хищника к относительно стабильному составу пищи, содержащей все необходимые элементы, способствовала возникновению большей, чем у карпа, зависимости от этого фактора. Известно, что при исключении из диеты форели и лососей незаменимых жирных и аминокислот, а также минералов и витаминов отмечается резкое торможение роста, тогда как у других видов рыб, в частности полифага карпа, длительное время не обнаруживаются симптомы недостаточности.

В случае содержания форели на дисбалансированной диете ее организм немедленно реагирует на изменение качества корма включением механизма эндогенной экскреции, что может вызвать быстрое истощение адаптационных механизмов. Следствие – замедление роста, снижение эффективности использования пищи на прирост массы и нередко гибель. В практическом плане высокая степень эндогенной экскреции у форели свидетельствует о повышенной напряженности в работе всего организма и является показателем несбалансированности рациона, указывая на несоответствие соотношения питательных веществ в корме потребностям рыб.

За последние двадцать лет накоплено определенное количество экспериментальных данных, подтверждающих наличие у высших животных и человека механизма коррегирующей деятельности пищеварительной системы – "питательного гомеостаза".

По трактовке Ю. Гальперина и П. Лазарева [1986], "питательный гомеостаз" – это состояние внутренней среды организма, при котором приспособительные изменения в координированной деятельности физиологических механизмов обеспечивают поддержание в ней концентрации питательных веществ в относительно малом интервале значений, а в пределах этого интервала – на уровне, адекватном внешним и внутренним возмущающим воздействиям."

Авторы отмечают, что опасность нарушения питательного гомеостаза, как правило, возникает в период активного пищеварения. При его затухании все потребности организма удовлетворяются за счет мобилизации ранее ассимилированных веществ из эндогенного депо. В период активного пищеварения гомеостаз может поддерживаться только за счет уравновешивания между процессами всасывания мономеров и скоростями их утилизации, а также депонирования. Он нарушается тогда, когда скорость пополнения внутренней среды всасывающимися веществами, может превысить скорость депонирования той их части, которая не расходуется в данный момент на обеспечение метаболических процессов в тканях. Это превышение приводит к критическому возрастанию концентраций в крови и в других внутренних средах организма всасывающихся веществ. При недостатке каких-либо веществ ответная реакция организма выражается в выделении их из внутренней среды в начальные отделы пищеварительного тракта. Основным и наиболее важным механизмом, обеспечивающим формирование гомеостатированной внутренней среды, и наиболее экономичным способом является постоянная рециркуляция эндогенных веществ.

Наиболее сильное внешнее воздействие на эндогенную экскрецию оказывает степень сбалансированности корма. Только в тех случаях, когда в состав рациона входят все основные питательные вещества, характерные для сбалансированных рационов, эндогенные вещества всасываются уже в начальном отделе пищеварительного тракта. В остальных случаях масса их в химусе возрастает тем значи-

тельней, чем ниже исходное содержание этих веществ в рационе. В результате пополнения химуса эндогенной водой и веществами их концентрации стабилизируются в относительно малом (по сравнению с кормом) интервале значений.

Ознакомление с трудом Ю. Гальперина и П. Лазарева [1986], посвященного проблеме пищеварительно-транспортных процессов в кишечнике и разработке теоретических основ энтерального зондового питания человека, еще более убедило нас в универсальности механизма эндогенной экскреции, направленной на поддержание питательного гомеостаза.

2.4. Количественная характеристика переваримости питательных веществ

О количестве питательных веществ корма, которые поступают во внутреннюю среду организма рыб после осуществления пищеварительного процесса, дают представление показатели (или коэффициенты) "видимой" и "истинной" переваримости. Под "видимой" переваримостью понимают разность между количеством питательных веществ в съеденном корме и выделенных с экскрементами, отнесенную к съеденному корму. Применение термина "видимая" обусловлено присутствием в экскрементах, помимо непереваренных остатков, пищеварительных соков, ферментов, микрофлоры, слущивающегося эпителия, эндогенных выделений. В совокупности они занижают реальную переваримость пищи.

Определения "видимой" переваримости проводят на живых организмах (in vivo). С этой целью обычно применяют два основных метода: прямой и косвенный. Первый, называемый балансовым, базируется на прямом учете количества съеденной пищи и выделенных экскрементов [Карзинкин, 1932; 1952; Noüe, Choubert, 1986 и др.]. Его выполнение очень сложно и мало надежно в связи с особенностями среды обитания и питания рыб, в частности комбикормами. Косвенный метод предполагает присутствие в корме неперевариимых веществ (индикаторов или маркеров). Они могут вводиться извне, как например Cr_2O_3, TiO_2, SiO_2, радиоактивные метки, гранулы полиэтилена, пропиленгликоль и т.д., или содержаться в составе пищи (кремний, клетчатка, лигнин), что используется реже [Nose, 1960; Щербина, 1960; Smith et al., 1980; Tacon, Rodrigues, 1984; Hilton et al., 1986; Noüe, Choubert, 1986; и т.д.]. Расчеты ведутся по формуле

$$Пк = 100 - Пэ/Пк \cdot Ик/Иэ \cdot 100,$$

где Пк, Пэ и Ик, Иэ – содержание питательного вещества и индикатора в корме и экскрементах соответственно, %.

"Истинная" переваримость определяется аналогичным образом с учетом эндогенных выделений, величина которых вычитается из экскрементов. Их определяют в специальных опытах на голодающей или питающейся по определенной схеме рыбе [Kaushik, 1985; Dosdat, 1992].

Для соединений, которые не подвергаются в пищеварительном тракте расщеплению и всасываются в неизмененном виде (амино- и жирные кислоты, минералы, витамины и др.), применяется термин "доступность".

Индикаторный метод не нарушает естественного хода процесса пищеварения. Он удобен для работы с рыбами, различающимися по характеру питания, при использовании синтетических диет и комбикормов [Щербина, 1971, 1983; Трудова, 1988; Schliffra, 1987; Wilson et al., 1981; Martinez-Polacios, 1988 и т.д.]. Разработаны способы его применения для определений у рыб переваримости естественной пищи, в частности, таких беспозвоночных, как личинки хирономид и дафний [Shcherbina, Pershina, 1990, 1995; Першина, Щербина, 1999]. З.Я. Макарова впервые использовала внутренний индикатор (кремний) для определения переваримости растительной пищи у такого представителя фитофильных водных насекомых, как гусеница водной огневки [Макарова, Щербина, 1975].

Индикаторный метод не требует полного учета съеденной пищи и выделенных экскрементов, а в сочетании с микрометодами химических анализов позволяет на малых навесках экскрементов (0,3–1,0 г) одновременно определять пере-

варимость более 25 нутриентов [Щербина, 1971, 1983]. Основная методическая трудность – сбор экскрементов. Недостатки и преимущества обычно применяемых способов описаны достаточно подробно [Щербина, 1964, 1971, 1983; Windell et al., 1978; Kurzinger et al., 1986; Noüe, Shoubert, 1986; Spyridakis et al., 1989 и др.].

В мировой аквакультуре знаниям о переваримости кормов придается большое значение. Считается, что ее показатели являются индикатором потенциальной доступности питательных веществ и энергии корма, используемых для поддержания жизни, роста и репродуктивных функций организма рыб [Cho, 1993]. Кроме того, эти показатели позволяют определять количество непереваренных веществ, загрязняющих среду в условиях индустриальной аквакультуры.

К настоящему времени наибольшее число сведений о переваримости питательных веществ у рыб получено в результате исследований ВНИИПРХ по оценке питательных свойств основных источников комбикормового сырья и ряда комбикормов. Они объединяют комплекс показателей видимой переваримости (белков, аминокислот, жиров, углеводов, минеральных веществ, энергии и корма в целом). Для естественной пищи сведения ограничены. Определения проводились в основном в нормальных и в отдельных случаях – в экстремальных условиях среды. Зарубежные источники, как правило, содержат сведения о переваримости сухого вещества, протеина и энергии испытывавшихся комбикормов.

2.4.1. Переваримость белков и доступность аминокислот

Для всех изученных к настоящему времени видов рыб независимо от типа питания наиболее доступными компонентами пищи являются белки и липиды. Установленный для безжелудочных всеядных карпов диапазон переваримости белков из различных типов комбикормов и их компонентов составляет 60–90%, беспозвоночных животных (личинки хирономид, дафнии) – 80–89% [Щербина, Першина, 1984; Shcherbina; Pershina, 1995; Першина, Щербина, 1999]. Для отдельных протеиногенных аминокислот различия более существенны – 45–95%. У фитофага – белого амура, белок ряски доступен на 72%, отдельных компонентов комбикормов – на 51–96% [Lowe, 1986]. У планктофага – пестрого толстолобика, белки протококковых и синезеленых водорослей перевариваются на 37–49%, комбикорма – на 33%.

Диапазон значений переваримости белков у рыб с желудочно-кишечным пищеварением столь же широк. При питании форели естественной пищей (гаммарусами, дафниями, личинками хирономид) коэффициенты переваримости белков находятся в пределах 76–84%, комбикормами – 65–91%. У осетровых рыб коэффициенты переваримости комбикормового сырья составляют 62–95%, у тиляпии – 53–97%, европейского угря – 29–93%, канального сома – 65–92%. У годовиков всеядной золотой тиляпии белок водного папоротника переваривается хуже – на 55–61%, а сухого вещества – на 49–54%. Более подробные сведения о переваримости белков комбикормового сырья у различных видов рыб можно найти ниже в таблицах главы 3.

Доступность аминокислот. В процессе пищеварения скорость и полнота расщепления белков и всасывания аминокислот определяются характером химических связей в белке, специфичностью действия и активностью протеолитических ферментов рыб, относительным содержанием аминокислот, а также особенностями химического состава самих кормов. Взаимодействие всех этих факторов приводит к тому, что доступность аминокислот может значительно отличаться от их валового содержания в корме, обнаруженного аналитическим путем. Согласно нашим данным [Щербина, 1965, 1969–1971а, 1973; Щербина и др., 1967, 1986, 1987; Салькова, 1984, 1985, 1991; Першина, Щербина,1999; Shcherbina, Pershina, 1995 и др.], доступность для карпа аминокислот излюбленных видов естественной пищи (личинок хирономид и дафний), сырья животного происхождения и отдельных видов кормовых дрожжей достаточно высока и находится в относительно узких пределах. В то же время вариабельность этого показателя для растительного сырья очень велика. Однако основная масса как заменимых, так и незаменимых

аминокислот имеет показатели доступности, несколько или значительно превышающие коэффициенты переваримости сырого протеина. Экспериментальные данные по резорбции сырого протеина и основных протеиногенных аминокислот на всем протяжении пищеварительного тракта карпов, дали основание полагать, что это явление связано с поступлением в кишечник вместе с пищеварительными соками эндогенных небелковых форм азота и частичной экскрецией их из организма. Особенно четко это проявляется при питании карпов зернами злаков [Щербина, 1984а].

Анализ показателей доступности незаменимых аминокислот дал основание установить некоторые зависимости, общие для всех исследованных источников кормового сырья:

– легче и быстрее всех аминокислот отщепляется от белка и всасывается аргинин. В большинстве случаев показатели его доступности значительно выше переваримости сырого протеина и доступности общей суммы аминокислот и составляют в среднем 80–90% от съеденного с кормом;

– высокие показатели доступности имеют лейцин и изолейцин. Эти аминокислоты извлекаются из кормов столь же полно, как и аргинин. Среди остальных незаменимых аминокислот в большинстве случаев хорошо доступен фенилаланин (в среднем – 70–90%);

– плохой доступностью обладает ряд незаменимых аминокислот, в частности лизин, который, как правило, является лимитирующей аминокислотой в растительных кормах;

– низкие показатели доступности лизина жмыхов и шротов (45–65%) связаны с особенностями его химической структуры и влиянием технологии извлечения масла, которая предусматривает влаготепловую обработку семян. При ее воздействии свободная ε-аминогруппа лизина вступает в реакцию с углеводами (так называемая реакция Мейлларда или почернения), другими аминокислотами и минералами. В результате образуются соединения, резистентные к действию протеолитических ферментов. Подобное явление может иметь место и при жестких режимах изготовления комбикормов, особенно в процессах гранулирования, экспандирования и экструдирования;

– плохая доступность лизина хлопчатникового (46%), клещевинного (68%) и горчичного (58%) жмыхов и шротов против 80–95% из других видов сырья, помимо воздействия влаго-тепловой обработки, связана с наличием в них ядов (госсипола, рицина, алиловых масел), которые обладают свойствами присоединять те же ε-аминогруппы лизина и образовывать резистентные соединения. Однако этот процесс, снижая биологическую питательность белка, частично обезвреживает яды, что повышает пищевую ценность корма;

– низкие показатели доступности лизина некоторых партий соевого шрота могут быть обусловлены присутствием ингибиторов протеолитических ферментов;

– показатели доступности лизина злаковых, бобовых, дрожжей, рыбной муки значительно выше и близки к доступности общей суммы аминокислот или превышают ее;

– к числу наиболее трудно извлекаемых аминокислот, имеющих меньшие, чем коэффициент переваримости белка, показатели доступности, относится треонин различных дрожжей и жмыхов. Из заменимых кислот, как правило, наименее доступны глицин и аспарагиновая кислота;

– основная масса заменимых и незаменимых аминокислот имеют коэффициенты доступности несколько (или существенно) бóльшие, чем сырой протеин. Абсолютное количество как незаменимых, так и заменимых аминокислот, получаемое рыбами из единицы корма, крайне разнообразно.

К факторам, влияющим на доступность аминокислот и общую переваримость сырого протеина комбикормов у рыб, следует отнести объем поглощаемой пищи. Известно, что при избыточном питании, проявляется обратная связь между содержанием белка в рационе и его переваримостью, при недостаточном питании, наоборот, коэффициенты переваримости белка возрастают, что происходит из-за снижения скорости продвижения пищи и увеличения времени ее контакта с

пищеварительными соками и всасывающей поверхностью. Кроме того, аминокислоты из низкобелковых кормов, как правило, извлекаются более полно, чем из высокобелковых.

В таблицах главы 3 приведены сведения о содержании, доступности для рыб и скорах доступных аминокислот, входящих в состав различных видов комбикормового сырья; в табл. 8 Приложения дан порядок лимитирования незаменимых аминокислот.

2.4.2. Переваримость жиров

Жиры, также как и белки, относятся к легкоперевариимым веществам. В случае оптимального содержания в корме коэффициенты их переваримости очень близки к показателям для белка или даже несколько превышают их. Например, если уровень жиров в корме для форели в пределах оптимума (9,5–43%) или выше, коэффициенты переваримости имеют высокие и близкие между собой значения (86–90%). При этом они слабо зависят от содержания жира в рационе [Ellis, Smith, 1984]. В случае недостатка жиров в корме у рыб включается механизм эндогенной экскреции, и в пищеварительный тракт поступают в расщепленном виде запасные и тканевые липиды. Частично они выделяются с экскрементами и в результате коэффициенты "видимой" переваримости могут приближаться к нулю или иметь отрицательные значения, означающие экскрецию. По нашим данным, у карпов в отдельных случаях (например, при содержании жиров в некоторых злаках и других видах сырья в количестве 2,0–2,5%) наблюдается столь значительная экскреция эндогенных липидов с фекалиями, что она полностью маскирует резорбцию пищевых жиров [Щербина, 1973а]. При уровне жиров, близком к оптимальному, их переваримость у карпов также достигает 80–90% и более.

Сведений о переваримости общих липидов основных компонентов комбикормов у рыб достаточно много [Щербина, 1973, 1980, 1984; Щербина и др., 1976а; Kaushik, 1990]. В то же время данные о доступности их отдельных фракций крайне ограничены. В этой связи интересны материалы Н.Т. Сергеевой [1984], согласно которым у форели переваримость таких фракций липидов, как триглицериды, фосфолипиды и стерины, как правило, выше, чем общих липидов, а эфиров стеринов – в отдельных случаях ниже. Еще более ограничены сведения о жирных кислотах. Так было показано [Ellis, Smith, 1984], что у радужной форели доступность различных жирных кислот (14:0; 16:0; 16:1; 18:1; 20:1; 20:5; 22:6) в диапазоне содержания общих липидов в диете от 8 до 16% достигает 88–100% при переваримости общих липидов 87–91%. В то же время у форели, питавшейся кормами с добавками жиров различного происхождения, была установлена зависимость доступности отдельных жирных кислот от качества жира (табл. 19).

Насыщенные (14:0,15:0,16:0) и мононенасыщенные (16:1,18:1) жирные кислоты комбикормов с добавками рыбьего жира, подсолнечного масла и свиного сала имели показатели доступности ниже, чем общие липиды, а экскреция в кишечник эндогенных линолевой и линоленовой кислот значительно превышала их количество, поступившее с кормом.

В то же время доступность жирных кислот рыбной муки, изготовленной по различным технологиям, имела очень высокие значения. Проявилась тенденция к повышению доступности жиров при увеличении в их молекуле числа углеродных атомов и количества двойных связей. Эти наблюдения согласуются с литературными данными [Corraze, 1994], представленными в табл. 20.

Из табл. 20 видно, что наименьшей доступностью для лососевых обладают твердые жиры с высокой точкой плавления, содержащие большое количество насыщенных жирных кислот. Причем, зависимость их переваримости от температуры наиболее выражена. Растительные жиры, в составе которых преобладают моноеновые и полиеновые кислоты, имели наивысшие коэффициенты переваримости, которые слабо зависели от температуры.

Подробные сведения о переваримости общих липидов основных компонентов комбикормов для рыб приведены в таблицах главы 3.

Таблица 19. Переваримость общих липидов и доступность жирных кислот у двухлеток форели, питавшихся комбикормами, содержащими различные жиры, % принятых с кормом (1 – по Сергеевой, 1984; 2 – по Щербине, Сергеевой и др., 1993)

Жирные кислоты		Варианты питания				
Название	Код	к/к+10% рыбьего жира (1)	к/к+10% подсолнечного масла (1)	к/к+10% свиного сала (1)	рыбная мука ПС-Т (2)	рыбная мука Э-Т (2)
Миристиновая	14:0	72	55	62	92	83
Пентадекановая	15:0	46	54	51	–	–
Пальмитиновая	16:0	37	43	51	91	73
Пальмитоолеиновая	16:1 n-7	77	61	69	87	79
Олеиновая	18:1 n-9	67	69	58	87	75
Линолевая	18:2 n-6	68э	59	0	91	85
Линоленовая	18:3 n-3	5э	21э	17	89	85
Эйкозапентаеновая	20:5 n-3	89	–	–	99	98
Докозапентаеновая	22:5 n-3	88	–	–	89	73
Общие липиды		87	80	82	90	86

Примечание. Э – экскреция с фекалиями обменных фракций жирных кислот; ПС-Т– прессово-сушильная технология изготовления; Э-Т – экстракционная технология.

Таблица 20. Переваримость некоторых жиров у лососевых рыб при различных температурах, % от принятых с кормом (по Corraze, 1994)

Масла и жиры	Точки плавления/ коагуляции, °С	Температура воды, °С		
		5	10	15
Рыбий жир		80	81	81
Рапсовое масло	–7/–12	85	89	90
Соевое масло	–7/–8	92	93	91
Льняное масло	–18/–27	92	95	95
Свиной внутренний жир	28/48	70	76	78
Бараний и говяжий жир	45/48	58	64	66

2.4.3. Переваримость углеводов

Углеводы пищевых объектов и комбикормов представлены главным образом полисахаридами и в меньших количествах – сахарами. Степень их доступности для организма рыб тесно связана с химическим строением отдельных структурных групп и их соотношением в корме.

Всасывание углеводов в пищеварительном тракте возможно только после их расщепления до дисахаридов, а в основном до моносахаридов. Процесс расщепления осуществляется гидролитическими ферментами – амилазами, которые обладают высокой специфичностью. Из-за наличия в комбикормах большого количества полисахаридов, несвойственных естественной пище, и отсутствия у рыб необходимых специфических ферментов, углеводы перевариваются значительно хуже, чем белки и липиды. К трудно переваримым полисахаридам относятся крахмал, целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин растений, хондроитинсульфаты хрящевой и скелетной тканей животных, хитин членистоногих. Их расщепление

идет в основном с помощью ферментов, которые синтезируются микрофлорой, населяющей кишечник.

Наиболее доступной частью углеводных составляющих корма являются свободные сахара – гексозы и пентозы, в частности, глюкоза и галактоза. У радужной форели и осетров свободная глюкоза и мальтоза всасываются почти полностью [Phillips, 1970; Herold, Hung, 1995]. Для карпа питательность углеводов растительных компонентов определяется скоростью отщепления моносахаридов и полнотой их всасывания [Эрман, 1970, 1970а]. Согласно данным табл. 21, из кормов в кишечнике карпа быстрее всего и наиболее полно извлекается глюкоза. Как правило, хорошо доступны и малые количества галактозы, и в ряде случаев – ксилозы. Переваримость дисахаридов у форели колеблется в пределах 50–70%. У карпа лактоза, по нашим данным, переваривается на 78%, у форели по Филлипсу [Phillips, 1970] – на 60%, т.е. хуже. Плохая переваримость крахмала – основного полисахарида растительного сырья – связана с химическими свойствами и соотношением двух его структурных фракций – амилозы и амилопектина: первая – хорошо ферментируется и быстро расщепляется в кишечнике, вторая – переваривается трудно. В связи с этим переваримость пшеничного крахмала, в котором преобладает амилоза, достигает у молоди форели, по данным Бергот [Bergot, 1993] 60%, а картофельного, основу которого составляет амилопектин, – не более 5%.

Таблица 21. Переваримость моносахаридов различных кормовых средств у карпов, % съеденных/г на 1 кг сухого корма (по Эрман, 1970а)

Вид корма	Глюкоза	Галактоза	Манноза	Ксилоза
Подсолнечный шрот	94/43	100/9	75/51	70/17
Горчичный жмых	91/45	48/10	51/25	56/14
Конопляный жмых	68/14	100/8	65/18	0
Арахисовый шрот	97/85	63/54	10/3	3/7
Горох	60/153	100/15	2/0,4	0
Пшеница	79/258	100/следы	8/2	25/9
Ячмень	70/234	100/следы	46/14	78/46
Комбикорм 111-1	63/123	100/3	54/20	87/29
Комбикорм 110-1	90/161	100/3	0	0

Известно, что кристаллические зерна крахмала в α-форме, в которую он переходит при нагревании, более чем нативная β-форма удобоваримы для рыб также как и для высших позвоночных животных. Если у карпа β-крахмал переваривается на 30–40%, то при переводе его в α-форму путем варки или экструзии переваримость может возрасти до 85% [Chiou, Ogino,1975; Bergot, 1979]. На форели в синхронных опытах было показано, что если сырой крахмал переваривается на 41–55% (при температурах 8 и 18 °С), то прогретый (желатинизированный) – на 70–87%. По сведениям F. Bergo и J. Breque [1983], средняя переваримость сырого крахмала у взрослых форелей составляла 38–54%, а после его термической обработки при 110–120 °С повышалась до 86–90°С, после экструзии – до 96%. У осетровых переваримость сырого крахмала близка к таковой у карпа [Herold, Hung, 1995].

Все описанные изменения связаны с тем, что разрушение кристаллических структур крахмала начинается только после его прогревания выше 55 °С. До этого вода только впитывается в молекулу крахмала и вызывает его набухание. При нагревании с 60 до 80 °С начинается распад крахмальных зерен. Они теряют свою форму, и в результате образуется очень вязкая гомогенная масса с четко выраженными клеящими свойствами. Происходят клейстеризация или желатинизация крахмала. Одновременно идет деградация молекулы крахмала. Она распадается на осколки – декстрины разного размера. Этот процесс называется декстринизацией. Продолжение нагревания вызывает дальнейшее разрушение молекул,

в результате чего образуется смесь более простых полисахаридов меньшего молекулярного веса. Эти декстрины уже достаточно хорошо доступны действию пищеварительных амилаз. Конечный продукт разрушения крахмала – мальтоза (солодовый сахар), которая, распадаясь на две молекулы глюкозы, достаточно легко утилизируется в организме рыб.

Таким образом, переваримость крахмала у рыб зависит не только от соотношения его главных составных частей (амилозы и амилопектина), но и от способности крахмальных зерен к набуханию, степени его полимеризации и клейстеризации, а также от наличия структурных повреждений в зернах, через которые проникают ферменты.

Переваримость у рыб основного полисахарида животных – гликогена составляет более 90%.

Сведения о переваримости основных структурных групп углеводов комбикормов ограничены. Наиболее полно они представлены в результатах наших комплексных исследований, в которых наряду с переваримостью у карпов белков, жиров, минеральных веществ были исследованы и различные группы углеводов (табл. 22). Изучению были подвергнуты в основном растительные источники, богатые крахмалами и структурными фракциями углеводов опорных тканей. Мож-

Таблица 22. Показатели переваримости у рыб различных групп углеводов, % съеденных

Вид корма	Группы углеводов		
	легкогидролизуемые	трудногидролизуемые	
		клетчатка	лигнин
	Карп (1)		
Пшеница: зерно	58,65/77	10,53/57	42,40Н/11
отруби	62/62	4;5Н/10	22Н/22
Рожь: зерно	84	38Н	31
отруби	75	24	-
Ячмень, зерно	74,67/72	0,6;50/53	6Н/9
Кукуруза, зерно	66/69	59/65	30Н/15
Горох	45	7	21
Люпин	57	22	14
Пределы	45–77	38Н; 0,6–65	40Н; 9–42
Жмыхи и шроты:			
соевые	51,55/73	39,40Н/7Н	34Н/51
подсолнечные	55,51,61/63	45,45Н/23	73Н, 39/53
рапсовые	53/67	32,47	14Н/21
арахисовые	65	44	32Н
конопляные	17	26	83Н
подсолнечная лузга	32/52	18/22	36/17
Пределы	17–73	45Н; 18–44	83Н; 17–53
	Форель (2; 3)		
Пастообразные корма на основе селезенки (2)	36–52	51–60	
Гранулированные корма (2)	35–37	37–51	
Комбикорм РГМ-5В (3)	20	–	

Примечания: 1. Н – новообразование в результате ферментативного гидролиза углеводов, а также реакции Майларда с аминокислотами и другими соединениями. Перед чертой гранулированное сырье, за чертой – экструдированное.

2. Источники информации: 1 – Щербина, 1973, 1980; Щербина, Гамыгин, Салькова, 1999; 2 – Трямкина, 1977 3 – Сергеева, 1989.

но видеть, что у карпов группа легкогидролизуемых углеводов злаковых, представленная в основном крахмалом и сахарами, имеет показатели переваримости в диапазоне 58–84%, бобовых – 45–57%, жмыхов и шротов – 50–65%. После экструзии эти значения возрастают в одних случаях существенно, в других – незначительно. У форели легкогидролизуемые углеводы пастообразных кормов на основе селезенки переваривались в пределах 36–52%, сухих гранулированных – 35–37% [Трямкина, 1977].

Структурные полисахариды, объединенные в группу трудногидролизуемых углеводов, плохо доступны пищеварительным ферментам из-за отсутствия у многих видов рыб соответствующих ферментных систем в результате эволюционно сложившегося характера питания. В то же время форель, в питании которой насекомые играют определенную роль, способна переваривать хитин с помощью собственной хитиназы. Поли- и гетерополисахариды ее пищи частично гидролизуются соляной кислотой и разрушаются ферментами желудка, панкреаса, а также кишечника, и лишь в малой степени – ферментами кишечной микрофлоры. У теплолюбивого безжелудочного полифага – карпа хитиназа не обнаружена. Хитиновые оболочки беспозвоночных и насекомых слабо расщепляются и под действием ферментов микрофлоры. В основном они разрушаются в процессе захватывания и перетирания пищи. Ферменты кишечника начинают свою работу через разломы. Расщепление и других трудногидролизуемых структурных углеводов, в частности гетерополисахаридов, идет под действием ферментов многочисленной микрофлоры кишечника и лишь частично панкреатических и кишечных ферментов.

Для структурных полисахаридов, объединенных в группу "клетчатка", диапазон разброса показателей переваримости значительно шире, чем для легкогидролизуемых, а сами показатели меньше. То же относится и к полисахаридам группы "лигнин". Здесь изменения переваримости в положительную сторону после экструзии были более выраженными. В то же время во многих случаях около показателей имеется знак "Н", который означает превышение содержания вещества в экскрементах над поступившим с кормом, иными словами – новообразование. Это явление связано с тем, что в процессе пищеварения часть полисахаридов, входящая в состав всех групп (сюда же входят пектины, гемицеллюлозы и другие полисахариды), под действием ферментов микрофлоры и частично кишечника расщепляется на различные по величине обломки. Образовавшиеся декстрины в ходе химического анализа разрушаются путем гидролиза с присоединением к каждой молекуле воды, в результате чего их масса, а следовательно, и общее количество, возрастают. Кроме того, известно, что декстрины, особенно низкомолекулярные, обладают редуцирующими свойствами, позволяющими им вступать в реакции с аминокислотами, минералами и другими веществами, при этом образуются соединения, плохо доступные или недоступные пищеварительным ферментам. Все эти процессы маскируют степень истинной переваримости углеводов.

Сведения по другим видам рыб ограничены данными С.П. Трямкиной [1977]. Согласно им, радужная форель, как и карп, способна извлекать определенное количество углеводов (37–60%) из трудногидролизуемого комплекса опорных тканей. Однако в этом случае большая часть приходится на гиалуроновую и хондроитинсерную кислоты животного сырья. В совокупности кишечные и микробные ферменты переваривают у карпа 10–40% растительных волокон, у форели при их малом количестве – также до 40% [Щербина, 1973; Трямкина, 1977].

В табл. 23 приведены сведения о переваримости общего количества углеводов сырьевых источников и комбикормов разными видами рыб. Основные данные относятся к карпу. Обнаруженные пределы переваримости углеводов зерна злаков находятся в диапазоне 50–68%, после экструзии происходит увеличение на 11–25%, пределы для зерна бобовых – 32–38%; жмыхов и шротов – 24–50% (после экструзии происходит увеличение на 5–59%); кормовых дрожжей – 0-80%; животного сырья – 36–80%; комбикормов – 31–66%. Известные данные для форели: по группам сырья – 6–92%, для суммарного количества углеводов комбикормов – 40–52%. Эти цифры согласуются со старыми данными Филлипса

Таблица 23. Переваримость общей суммы углеводов различных кормов у рыб, % съеденных

Вид корма	Карп (1, 2)	Форель (3, 4)	Осетровые (5)
Зерна злаковых и продукты их переработки			
Пшеница: зерно	50–60/73	–	34–55
отруби	44/49	–	–
витазар	79	–	–
витал			–
Рожь: зерно	70	–	–
отруби	46	–	–
Ячмень	59–64/72	–	–
Овес	58	–	–
Сорго	61	19	46
Просо	53	–	–
Рис	65	–	–
Кукуруза	64–68/76	–	–
Пределы	44–79	–	–
Зерно бобовых			
Горох	32,39/53		
Люпин	38		
Жмыхи и шроты:			
соевые	45,38/59	8,10Н	20
подсолнечные	48,39/41	6,12	50
рапсовые	36/53	–	–
арахисовые	50	–	–
льняные	37	–	–
конопляные	24	–	–
Пределы	24–59	6–12	20–50
Кормовые дрожжи			
Гиприн	41–43	9	–
Паприн	65–82	12	35–45
Эприн	35–61/57	–	–
Кливеролакт	68	–	–
Белотин	30	–	–
Биотрин	5Н	–	–
Пределы	5Н-35–82		
Сырье животного происхождения:			
рыбная мука	36–83	49–92	16–40
мясокостная мука	44–57	5	–
крилевая мука	35	9	–
кальмаровая мука	72	–	–
сухое молоко	78	–	–
Пределы	36–83	5–92	16–40
Комбикорма для форели:			
пастообразные на основе селезенки	–	52	–
гранулированные	–	40	–
типа РГМ (усредненные)	–	28–43	–
Комбикорма для карповых:			
типа 110-1, 111-1	12–39	–	–
типа К-116, ВБС-РЖ	45–66	–	–
Комбикорма для осетровых типа СТ-4Аз	–	–	67–69
Пределы	12–66	28–52	67–69

Примечания: 1. Н – новообразование в результате ферментативного гидролиза углеводов, а также реакции Майларда с аминокислотами и другими соединениями. Перед чертой – гранулированное сырье, за чертой – экструдированное.

2. Источники информации: 1 – Щербина, 1973; 2 – 1980; Щербина, Гамыгин, Салькова, 1999; 3 – Сергеева, 1987, 1989; 3 – Трямкина,1977; 4 – Абросимова, 1997.

[Phillips, 1970]. Согласно им, переваримость суммы углеводов в комбикормах форели составляла в среднем 40%. Кроме того, есть сведения, что фитофаг – белый толстолобик получает из синезеленых водорослей 41–54% общей суммы углеводов, из комбикормов – до 30% [Чигринская, 1984]; белый амур – из кукурузной муки – 88%, рисовых отрубей и травяной муки – 0, из рыбной муки – 37% [Lowe, 1986]. У канального сома переваримость легкогидролизуемых углеводов колеблется около 33–46%, трудногидролизуемых – 20–29% [Трудова, 1998]; у осетровых – от 20 до 68% [Абросимова, 1985, цит. по Щербине, Абросимовой, Сергеевой, 1985].

В заключение следует сказать, что углеводная составляющая комбикормов для всех объектов аквакультуры доступна значительно хуже, чем белки и жиры. Поскольку на ее долю, как правило, приходится около половины или более массы современных комбикормов, именно с этим связан общий низкий уровень их переваримости в целом.

К наиболее эффективным технологическим приемам, способствующим повышению доступности углеводистой части кормов, относится гидробаротермическая обработка, или экструзия, применяющаяся для отдельных видов сырья при изготовлении комбикормов. Она приводит к разрыву клеточных оболочек, разрушению отдельных фракций углеводов, разложению и гидролизу содержащихся в них веществ, деструкции целлюлозо-лигнинного комплекса. Особо важное значение имеет глубокая клейстеризация крахмала, способствующая разрушению его макромолекул и образованию различных по молекулярному весу декстринов, олигосахаридов и сахаров (в частности, мальтозы и глюкозы). В результате клейстеризации крахмала повышается его сорбционная емкость по отношению к амилолитическим ферментам рыб. В наших опытах с карпом [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996] наиболее заметно переваримость углеводистых веществ возросла после экструзии соевого и рапсового шротов (на 55–47%), гороха (на 36%), пшеницы (на 22%, – с 60 до 73%), ячменя и кукурузы (на 13–12%, – с 72 до 76%.) По вышеупомянутым данным [Bergot, Breque, 1983], переваримость чистого пшеничного крахмала после экструзии повысилась с 54 до 96%. В настоящее время датская фирма "Bio Mar" применяет в качестве основного источника углеводов экструдированную пшеницу и условно принимает за показатель переваримости общей суммы углеводов 80%.

Таким образом, в настоящее время экструзия является наиболее перспективным путем повышения переваримости углеводистой части рыбных комбикормов.

2.4.4. Доступность минеральных веществ

Определение доступности минеральных элементов методически более сложно, чем органических веществ.

Обычный метод определения "видимой переваримости" путем расчета разности между количеством вещества, съеденного с кормом и выделенного с экскрементами, в применении к минеральным элементам не достаточно объективен. Это связано, во-первых, с тем, что в пищеварительный тракт из крови поступает значительное количество минеральных веществ (таких, как кальций, натрий, фосфор, калий и др.), которые необходимы для создания оптимальных условий пищеварения. Во-вторых, через кишечник из организма выделяются минералы, поступившие осмотическим путем (в основном двухвалентные). В результате этих процессов, согласно нашим данным, относительное содержание минеральных веществ в экскрементах рыб нередко оказывается в той или иной степени выше, чем было в корме [Щербина, Эрман, 1969; Щербина, Казлаускене, 1970; Щербина, Мочульская, Эрман, 1970]. В итоге коэффициенты, определенные по формуле переваримости, характеризуют суммарный эффект резорбции минералов пищи и выделения в пищеварительный тракт эндогенных минералов, что искажает представление о том, какая часть минералов корма всосалась в пищеварительном тракте. В случае значительного превышения уровня эндогенных минералов в экскрементах над имевшимися в съеденном корме, расчеты по формуле переваримости дают отри-

цательные значения, что свидетельствует о превышении экскреции эндогенных фракций над резорбцией алиментарных и обозначается в таблицах буквой Э.

Другие методы изучения переваримости минеральных элементов, такие как балансовый метод, метод радиоактивных индикаторов, фистульный, кроме перечисленных недостатков, имеют свои дополнительные (трудоемкость, необходимость специального оборудования, особых форм солей и т.д.), и также не дают объективной информации об абсорбции минералов корма у рыб.

При отсутствии более совершенного методического подхода мы использовали метод инертных веществ. Для суждения о динамике процессов всасывания и экскреции в ходе пищеварения "видимую" переваримость минералов определяли на протяжении всего пищеварительного тракта, условно разделив его на пять частей [Щербина, 1970]. При обнаружении эндогенной экскреции элемента за показатель доступности мы условно принимали среднюю из максимальных величин резорбции, наблюдавшихся в опыте на различных участках пищеварительного тракта. При малых количествах элемента в воде расчеты проводили по его содержанию в экскрементах.

Кальций. Коэффициенты доступности для карпа кальция девяти кормовых средств из 13, определенные указанным способом, свидетельствуют о значительном превышении экскреции кальция над его резорбцией. Так как рыбы не могут жить и расти, не получая кальция, а в условиях экспериментов они нормально росли, мы предположили, что высокий уровень эндогенной экскреции связан с удалением из организма кальция, поступившего осмотическим путем.

Как видно из приведенной далее табл. 24, были исследованы основные виды сырья: фуражное зерно, бобовые, жмыхи и шроты. Положительные коэффициенты видимой доступности кальция были получены в опытах с ячменем (19%), овсом (5%) и горчичным жмыхом (32%). Доступность кальция комбикормов находилась в диапазоне 0–39% [Щербина, 1973]. Исследуя всасывание кальция у рыб с помощью хронических фистул на кишечнике, Б.В. Краюхин [1963] показал, что карп может извлекать из корма до 40% этого элемента.

Для других видов рыб имеются единичные и фрагментарные сведения. По данным Н.Т. Сергеевой [1987], полученным методом инертных веществ, радужная форель может извлекать из комбикормов с высоким содержанием рыбной муки (рецепты типа РГМ) 26–30% кальция, а осетровые, по сведениям Н.А. Абросимовой [1997], – около 33%.

Анализ представленных материалов дает основание полагать, что метод инертных веществ в условиях нормальной и высокой минерализации воды мало пригоден для определения у рыб доступности кальция. Причина – поступление осмотическим путем значительных количеств этого элемента и их выделение через пищеварительный тракт. Метод будет полезным при проведении экспериментов в условиях низкоминерализованных вод.

О плохом усвоении кальция из корма свидетельствуют также более ранние опыты Н.П. Рудакова [цит. по Карзинкину, 1962]. Изучая поглощение из воды радиоактивного кальция рыбами, которые предварительно голодали или получали корм, он показал, что в обоих случаях количество Ca^{45}, потребленного из воды, сохранялось на одном уровне. По данным М.П. Богоявленской (цит. по Карзинкину, 1962), молодь осетра в зависимости от этапа развития потребляла из воды в 3–4 раза больше кальция, чем из кормов. Г.С. Карзинкин и его сотрудники установили, что потребность в кальции пресноводных рыб на 95% удовлетворяется за счет осмоса.

Магний. У карпов, по нашим данным [Щербина, 1973], доступность магния при питании зерном злаков находилась в пределах 25–48% (в среднем 38%), бобовыми – 35–60%, жмыхами и шротами – 23–47% (в среднем 35%), комбикормами – около 40%. Экскреция была отмечена только при испытании соевого шрота. Косвенным образом это свидетельствует о меньших объемах проникновения магния в организм карпов посредством осмоса по сравнению с кальцием. В экспериментах с лососевыми рыбами [Sugiura et al., 1998] количество извлекаемого из пшеницы магния может достигать 80%, из кукурузы – 36%, а из рыбной муки – 50–70%.

Относительно остальных металлов мы ограничены тем же источником информации [Sugiura et al., 1998], согласно которому, медь из растительного сырья доступна для лососевых достаточно хорошо (40–96%), из рыбной муки – в пределах 22–85%, из комбикормов типа РГМ [Сергеева, 1987] – на 22–32%, доступность цинка комбикормов составляет 0–55%, марганца – около 12%.

Фосфор. Как указывалось выше, особый интерес представляют сведения о доступности фосфора. С одной стороны, это связано с высокой потребностью рыб в этом элементе, с другой – поступлением его в организм рыб преимущественно с пищей. Кроме того, существуют различия в способности пищеварительной системы отдельных видов рыб извлекать его из корма. У безжелудочных рыб, не имеющих солянокислого пищеварения, многие формы минерального фосфора растительного и животного происхождения не способны расщепляться и абсорбироваться в кишечнике. Прежде всего это относится к фосфору трудно растворимых солей фитиновой кислоты (фитатам). Для их разрушения требуется специальный фермент – фитаза, которая отсутствует у многих видов рыб, равно как и у птиц, свиней и ряда других сельскохозяйственных животных [Lall, 1979, 1989, 1990]. В табл. 24 приведены сведения о содержании общего и фитатного фосфора в растительных компонентах комбикормов наряду с данными о его доступности для рыб.

Из публикаций [Jongbloed, 1997; Супрунов, 1998] известно, что на долю фитатного фосфора приходится около половины его общего содержания в семенах растений или значительно больше. Определенные нами в разные годы [Щербина 1973; Щербина и др., 1999] показатели доступности общего и фитатного фосфора у карпа оказались очень близкими к разности между содержанием того и другого в кормах. В ряде случаев показатели доступности оказались несколько большими, чем эта разность. Повидимому, часть фитатов все же разрушается и их фосфор резорбируется в кишечнике карпов. Об этом свидетельствуют и данные Огино и Такеды [Ogino, Takeda, 1979]. Согласно им, карп может извлекать из фитатов от 8 до 38% фосфора (табл. 24). По другим видам рыб (форели, кижучу, канальному сому) сведения единичны. По данным Огино и Такеды [Ogino, Takeda, 1979], доступность фосфора фитатов у форели ниже, чем у карпа (0–19%), хотя можно было полагать, что соляная кислота желудка должна способствовать лучшему растворению фитатов и извлечению из них фосфора.

Помимо образования прочных связей с фосфором, фитиновая кислота обладает и другим отрицательным свойством – способностью связывать двух- и трехвалентные катионы других минералов, образуя фитат-минеральные комплексы с цинком, марганцем, медью, железом, а также частично с магнием и кальцием, что, несомненно, отражается на доступности для рыб и этих элементов. К примеру, в зерне ячменя содержание фосфора фитатов составляло 60–70% от общего, а доступность для карпа всего фосфора – 45%. В случае сорго это соотношение составляло – 70 и 44%, риса – 45 и 60%, пшеничных отрубей – 85 и 11%, соевого шрота – 70 и 38% и т.д.

В целом для карпа коэффициенты доступности фосфора главных растительных компонентов, за редким исключением, были очень низкими. Максимальный показатель (79%) определен нами для фосфора витазара – жмыха из зародышей пшеницы. Доступность фосфора комбикормов колебалась в пределах 15–58%.

Основное количество фосфора рыбной муки (70–80%), как правило, находится в форме минеральной соли – гидроксиапатита $/Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2/$ – структурной основы костной ткани. Он трудно растворим в щелочной, нейтральной и слабокислой среде, свойственной кишечнику безжелудочного карпа. Вследствие этого доступность фосфора ограничивается в среднем 10–30% от его общего содержания в муке (табл. 25).

При отдельных способах изготовления рыбной муки обнаружено очень высокое поступление эндогенного фосфора, которое маскирует резорбцию алиментарного. В результате возникает недостаточность этого элемента в диете. С увеличением сроков хранения рыбной муки количество доступного для карпов фос-

фора в результате окислительных и микробиологических процессов сокращается [Щербина и др., 1999]. Форель и другие лососевые благодаря присутствию в желудке соляной кислоты способны несколько лучше расщеплять гидроксиапатиты рыбной муки и извлекать из них фосфор (33–74%).

Таблица 24. Содержание общего и фитатного фосфора в растительном сырье и его доступность для рыб

Вид сырья	Содержание фосфора		Доступность, % съеденного			
	общего, г/кг (1)	фитатного, % общего (2)	карп (1)	форель (3)	кижуч (3)	канальный сом (6)
Зерна злаков и продукты их переработки						
Пшеница	3,0; 4,0–5,8	67	11, 45, 57	53	41	24, 38
Рожь	5,3	–	39			
Просо	5,0	–	64			
Ячмень	3,6–5,3	60–70	45			
Овес	3,6–4,7	39–59	26			
Сорго	3,0–4,0	70	44			
Рис	4,0	45	60			
Кукуруза	2,9	68–70	54			28
Кукурузный глютен	0,9–4,6	70	13Э			
Пшеничные отруби	9,3	85	11			
Ржаные отруби	6,0	–	29			
Рисовые отруби	7,9	64	25			
Пшеничные зародыши	–	–	57			
Жмых из пшеничных зародышей (витазар)	10,0	–	79, 57 (4)	58 (4)		
Зерна бобовых						
Горох	3,7–4,2	46–62	41			
Люпин	3,3–4,3	20–61	42			
Жмыхи и шроты						
Конопляный жмых	17,3	–	21			
Горчичный жмых	13,2	–	30			
Подсолнечный шрот	7,5–12,3	44, 57, 90	29; 24Э			
Клещевинный жмых	12,0	–	36			
Льняной шрот	7,8–10,0	54–70	34			
Соевый шрот	6,4–7,0	70	38, 55			
Арахисовый шрот	5,5	–	39			
Рапсовый шрот	10, 8	36–75	27			
Комбикорма различных рецептур	–	–	15–58	–	–	–
Фосфор фитатов	–	–	8–38 (7)	0–19 (7)	–	–

Примечания: 1. Э – превышение экскреции эндогенного фосфора над резорбцией алиментарного.

2. Источники информации: 1 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1999; 2 – Супрунов, 1998; 3 – Sugiura, Dong, Rathbone, Hardy, 1998; 4 – Kaushik, 1990; 5 – Jongbloed, 1997; 6 – Lowell, 1978; 7 – Ogino et al., 1979.

Очень хорошо как для карпов, так и для форели доступен фосфор, находящийся в легкорасщепляемых органических соединениях казеина (97–91%), кальмаровой муки (85%), а также алкановых и этаноловых дрожжей.

Таблица 25. Содержание общего фосфора в сырье животного и дрожжевого происхождения и его доступность для карпов и лососевых рыб

Вид сырья	Содержание, г/кг (1)	Доступность, % (1)
	Карпы	
Рыбная мука:		
из мойвы, ПС-Т, 3 мес. хранения	21,8	17
из мойвы, ПС-Т, 10 мес. хранения	10,3	10
из сардинеллы, ПС-Т	9,8	61
из сардинеллы, ПС-Т, Э-Т	17,4	25
из атлантической ставриды, ПС-Т	24,0	31Э
из светящегося анчоуса, ПС-Т	22,3	13
из светящегося анчоуса, ПЦ-Т	19,5	22Э
Рыбная мука	–	0–18 (4)
Рыбная мука	–	10–33 (5)
Другие продукты		
Казеин	4,7	97
Сухое молоко	11,0	50
Яичный порошок	16,0	40
Мука из отходов производства филе кальмаров, ПС-Т	8,8	85
Мука из криля, ПС-Т	7,0	18
Дрожжевое сырье		
Гидролизные дрожжи (гиприн)	10,0	62
Алкановые дрожжи (паприн)	13,0; 21,0	85; 60
Этаноловые дрожжи (эприн)	20,0	53; 63; 80
Биотрин	9,0	29
Белотин	10,0	40
Пивные дрожжи	–	93 (4)
Пищевые организмы (олигохеты)	–	99 (5)

Лососевые

Вид сырья	Содержание, г/кг (2)	Доступность, % съеденного	
		форель (2; 3)	кижуч (2)
Рыбная мука:			
из сельди	20,5	44–51	57
из анчоуса	29,0	50–33	47
из менхеден	34,3	37-20	40
из сардины	–	–34	–
Рыбная мука	–	66–74(4)	–
Мука из отходов птицы	21,7	64–	68
Перьевая мука	7,5	62–	75
Казеин	4,7	85–	91
Пивные дрожжи	–	914	–

Примечания: 1. ПС-Т – прессово-сушильная технология изготовления; Э-Т – экстракционная технология; ПЦ-Т – прессово-центрифужная технология; Э – превышение экскреции эндогенного фосфора над резорбцией алиментарного.

2. Источники информации: 1 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1999; 2 – Sugiura et al; 1998; 3 – Riche, Brown, 1996; 4 – Kaushik, 1990; 5 – Ogino et. al., 1979

Зависимость доступности фосфора для рыб от формы солей наглядно видна при рассмотрении табл. 26.

У всех видов рыб легче всего усваивается фосфор одноосновных солей.

Таблица 26. Доступность для рыб фосфора различных солей, % от поступивших с кормом

Источник фосфора	Содержание в соли (%)		Доступность (%) для		
	фосфора	катиона	карпов (1; 2; 3; 9)	форели, лосося(1; 4; 5)	канального сома (4; 5;6;7;8)
Монокалий фосфат (KH_2PO_4)	22,8	28,8	94	98	–
Мононатрий фосфат (NaH_2PO_4)	25,8	19,2	94	98	89–100
Монокальций фосфат ($Ca(H_2PO_4)_2$)	26,5	17,1	90	86	81–94
Дикалий фосфат (K_2HPO_4)	17,8	44,8	46	71–79	–
Динатрий фосфат (Na_2HPO_4)	21,8	32,4	46	71–79	–
Дикальций фосфат ($Ca_2(HPO_4)_2$)	22,8	29,5	46	71–91	64-82
Диаммоний фосфат ($(NH_4)_2HPO_4$)	23,5	27,3	45–50	–	–
Трикалийфосфат (K_3PO_4)	14,6	55,3	13	64	–
Тринатрийфосфат (Na_3PO_4)	18,9	42,1	13	64	–
Трикальцийфосфат ($Ca_3(PO_4)_2$)	20,0	38,8	13	64	55
Триаммоний фосфат ($(NH_4)_3PO_4$)	20,8	36,2	30	–	–
Фитаты			8–38	0–19	–

Примечание. Источники информации: 1 – Ogino et al., 1979; 2 – Nakamura, 1982; 3 – Kim et al., 1998; 4 – Цит. по Kaushik, 1990; 5 – Nordrum et al.,1997; 6 – Lowell, 1978; 7 – Eya, Lovell, 1997; 8 – Li, Robinson, 1996; 9 – Щербина, Чяпулис, Гамыгин, 2000.

Доступность фосфора двухосновных солей ниже, особенно для безжелудочного карпа, и еще ниже – фосфора трехосновных солей.

Следует принять во внимание, что использование трикальций фосфата не оказывает ожидаемого положительного действия. Эффект его введения в корм карпов близок к нулевому, а по ряду позиций отрицателен. Обусловлено это в основном избытком в соли кальция, который нарушает требуемое для рыб соотношение в пище между ним и фосфором.

В виду большой вариабельности показателей доступности фосфора различных компонентов комбикормов (0–97%) и важности этого элемента для растущего организма, балансирование кормосмеси следует проводить с учетом его доступности. При обнаружении дефицита фосфора он должен быть восполнен за счет иных источников. В противном случае тщательно сбалансированный по органическим веществам комбикорм будет иметь питательность, значительно ниже ожидаемой. Особенно важно учитывать это обстоятельство при выращивании молоди и товарных рыб в индустриальных условиях, где они полностью лишены естественной пищи. Интересно отметить, что по мере эксплуатации рециркуляционнных систем содержание в воде кальция возрастает более чем на 40%. Соответственно требуется увеличение и количества доступного фосфора в корме приблизительно на 20%.

Для подбора компонентов в комбикорма и минеральные премиксы, помимо табл. 24 и 25 следует использовать табл. 26, где приведено содержание общего и доступного фосфора, а также катионов в различных солях, обычно используемых для минеральных премиксов.

Зольные элементы. В эту группу объединены минеральные вещества, которые остаются после сжигания и прокаливания продуктов при свободном доступе воздуха. Подавляющую часть золы составляют окислы следующих макроэлементов (в порядке снижения содержания): кальция, магния, калия, натрия.

Как указывалось выше, по причине осмотического проникновения в организм рыб значительных количеств минералов, особенно двухвалентных, и удаления их избытка через пищеварительный тракт, величина доступности алиментарных минералов маскируется ими, а также их обменными фракциями в экскрементах. По-

этому в той или иной степени показатели переваримости занижаются. На этом основании использованный нами и другими авторами индикаторный метод определения переваримости зольных элементов нельзя признать достаточно корректным. Однако из-за отсутствия более надежных способов приходится довольствоваться имеющимися сведениями хотя бы для ориентировочной характеристики процесса.

Основное количество сведений содержится в таблицах третьей главы, где дано описание питательных свойств различного сырья. Ряд извлеченных из этих таблиц показателей представлен в табл. 27.

Таблица 27. Показатели видимой переваримости (или наблюдаемой экскреции) зольных элементов различных видов сырья и комбикормов у рыб, % от потребленных

Вид пищи	Карп (1; 2)	Форель (2; 3)	Осетры (2; 4)
Пшеница	90/91	–	Э, 9, 46
Ячмень	52/27	–	–
Рожь	Э	–	–
Сорго	40/48	5	–
Просо	47Э	–	–
Рис	20Э	–	–
Кукуруза	62Э/30Э	–	–
Зародыши пшеницы	32	–	–
Пшеничные отруби	Э/48	–	–
Ржаные отруби	58Э	–	–
Пределы	32–91/*20Э-62Э	–	Э, 9–46
Соевый шрот	8–37	22–28	Э
Подсолнечный шрот	1Э/7,2	17–23	36
Льняной шрот	22	–	–
Рапсовый шрот	61Э/8	–	–
Горчичный шрот	43Э/35Э	–	–
Пределы	8–37/*1Э-61Э	17–28	Э-36
Гиприн	27Э	53	–
Паприн	33–54	31	24–34
Эприн	27; 48/37	–	16–47
Кливеролакт	38	–	–
Белотин	36	–	–
Биотрин	13	–	–
Пределы	13–54/*27Э	31–53	16–47
Рыбная мука	10–34; 8/9	33–68	27–60
Мясокостная мука	24Э/18	9	–
Крилевая мука	17Э	41	–
Кальмаровая мука	56	–	–
Яичный порошок	39Э	–	–
Сухое молоко	14	–	–
Пределы	14–56/*17Э-39Э	9–68	27–33
Комбикорма	7Э-38	9–13	–

Примечания: 1. Перед чертой – гранулированное сырье, за чертой – экструдированное ;* Э – превышение экскреции над резорбцией.

2. Источники информации: 1 – Щербина, 1973; Щербина, Казлаускене, 1971а; Щербина, Салькова, Трофимова, 1986; Щербина, Трофимова, Салькова, 1987; Щербина, Сергеева и др., 1993; Щербина, Гамыгин, Буховец, 1996; Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996; Щербина, Гамыгин, Салькова, Першина, 1999; Щербина, Гамыгин, Салькова, Самойленко, 1999; Щербина, Салькова, Першина, 2001; Щербина, Салькова, Гамыгин, Першина, 2001; 2 – Щербина, Абросимова, Сергева, 1985; 3 – Сергеева, 1987; 4 – Абросимова, 1997.

Можно видеть, что при питании карпов зерном в пяти случаях из десяти отмечено превышение на 20–60% экскреции зольных элементов над их резорбцией. Наивысшие показатели доступности (до 90%) отмечены при питании рыб пшеницей, а также ее зародышами (32%); ячменем и сорго. Экструзия пшеничных отрубей, сорго и кукурузы в большей или меньшей степени оказала благоприятное влияние на переваримость золы. Однако при экструдировании ячменя действие было обратным. Что касается доступности зольных элементов зерна злаков для других видов рыб, то нам известны только данные по сорго для форели (5%) и сведения Н.А. Абросимовой [цит. по Щербине и др., 1985] по пшенице у осетровых – от экскреции до 46%-ной доступности.

При питании карпов подсолнечным, рапсовым и горчичным шротами выявлено преобладание экскреции над резорбцией. Показатель доступности золы соевого шрота был очень мал (8%). После экструзии он возрос до 37%. Аналогичное действие экструзия оказала на доступность зольных элементов перечисленных выше шротов.

В то же время у форелей, питавшихся гранулированными подсолнечным и соевым шротами, доступность элементов золы оказалась в 3–7 раз выше, чем у карпов. У осетров, получавших соевый шрот, преобладала экскреция, подсолнечный – резорбция, причем ее показатели были сопоставимы с показателями у форели.

Зольные элементы рыбной муки являются в основном продуктами окисления гидроксиапатита. Они содержатся в количествах, в 2–3 раза превышающих их содержание в растительном сырье. Показатель доступности золы рыбной муки у карпов составляет в среднем около 10%, и только в нескольких случаях он возрастает до 24 и 34%. У форели и осетровых их доступность была значительно большей (30–60%), что также можно связать с лучшей растворимостью минеральных солей в кислой среде желудков.

Большое количество зольных элементов мясокостной муки по той же причине оказалось слабо доступным для форели (9%). У карпа наблюдалась их экскреция, которая сменялась резорбцией только после экструзии. Из крилевой муки форель извлекала около 40% минералов; у карпа экскреция перекрывала их резорбцию.

В целом приведенные данные позволяют говорить, что минералы золы имеют показатели доступности существенно ниже, чем минералы органических веществ. Это связано с рядом причин. Во-первых, во многих случаях минеральные элементы растительных или животных компонентов комбикормов находятся в плохо растворимой или нерастворимой формах фитатов или органических соединений (например, с лизином и другими аминокислотами).

Во-вторых, при определенных концентрациях в воде ряд элементов поступает в организм осмотическим путем и их избыток выделяется через кишечник. В-третьих, объемы их реальной резорбции в определенной степени маскируются поступлением из внутренней среды организма в желудок и кишечник вместе с пищеварительными соками минеральных элементов, необходимых для нормального пищеварения; нередко количество последних сопоставимо с содержанием в корме или превышает его.

К настоящему времени мы не обнаружили в литературе сведений и методических подходов, которые дали бы возможность достаточно корректно разделить в химусе и экскрементах минералы пищевого, эндогенного и осмотического происхождения. Между тем знание этих соотношений позволило бы провести соответствующие расчеты и внести поправки в показатели доступности минеральных элементов и корма в целом.

2.4.5. Общая переваримость кормов и потенциальная энергия переваренных веществ

Общее количество питательных веществ, перевариваемое различными видами рыб из отдельных компонентов, комбикормов и естественной пищи, определяется по сухому веществу и составляет от 30 до 97%. Общая переваримость комбикормов у карпов, как правило, лежит в пределах 45–65%. У форели и других лососевых она выше и в отдельных случаях может превышать 80%. Как правило, величина переваримости сухого вещества комбикорма, особенно у форели, имеет прямую связь с количеством наболее удобоваримого компонента – рыбной муки. Так по данным Чо [Cho, 1983], при ее наличии в комбикормах для лососевых в количестве 20–30% их переваримость составляла 70–71%, при 40: и выше – 80% и более.

Показатели потенциальной *энергии переваренных веществ* обычно имеют значения, близкие к коэффициентам переваримости сухого вещества (подробные сведения приведены в таблицах главы 3).

2.4.6. Влияние различных факторов на переваримость пищи у рыб

Состав корма. На способность организма рыб извлекать из пищи питательные вещества оказывает влияние ряд алиментарных факторов, в частности соотношение питательных веществ в рационе, т.е. в общем количестве пищи, съедаемой за сутки. Из органических полимеров наиболее выраженное положительное действие на переваримость всех питательных веществ оказывает *обогащение рациона жирами.* У карпов это явление наблюдается при повышении содержания общих липидов в диете с 2 до 10%, у форели – с 4 до 15% [Щербина, Казлаускене, 1975; Chubert et al., 1991]. По нашим данным, наличие в рационе карпов смеси животных жиров и подсолнечных фосфатидов (4:1) в количестве 5–10% стимулировало активность пищеварительных липаз и протеаз. В результате переваримость белка возросла с 58 до 83%, липидов с 26 до 78%. Одновременно повысилась конверсия белка и корма в целом. Мировая практика последних десятилетий использует обогащение кормов липидами для повышения не только их энергетической, но и общей питательности.

К факторам, положительно влияющим на пищеварение и усвоение кормов, относится и *фосфор.* Введение его в рационы для молоди карпов в виде 1–3% легкоусвояемых одно- или двухзамещенных солей калия, натрия, аммония приводит к увеличению переваримости корма на 3–15%. В основном это происходит за счет усиления абсорбции белка (до 13%), фосфата и других минералов (в 1,5–2,0 раза). Одновременно активизируется рост рыб на 20–47%. На 32% сокращается потребность рыб в пище. Кормовые коэффициенты снижаются на 39%. Уменьшается как абсолютная, так и относительная экскреция фосфора с фекалиями (с 23 до 10 г на 1 кг прироста рыб), что в 1,5–2,0 раза снижает опасность загрязнения этим элементом воды индустриальных хозяйств [Щербина, Чяпулис, Гамыгин, 2000].

Угнетающее влияние, особенно у лососевых рыб, может оказывать *избыток клетчатки.* Аналогичный эффект вызывается высоким уровнем *сырого крахмала.* Повышение его содержания в корме радужной форели с 20 до 40% приводит к снижению переваримости общих углеводов на 36%, белка – на 7% [Kaushik, 1990].

Кроме того, отрицательный эффект вызывают наличие в сырье *ингибиторов протеиназ* (сои и продуктов ее переработки) и *амилаз* (пшеницы), *ядов различной природы, таких как госсипол* (хлопчатник), *танины* (сорго), и другие антипитательные факторы (подробно обсуждается в главе 3).

Технология изготовления корма. Различные способы подготовки сырья перед включением в комбикорма, направленные на повышение доступности питательных веществ для организма животных и разрушение антипитательных факторов,

способны оказывать определенное влияние на клеточную архитектонику и химическую структуру сырья, свойства питательных веществ, на их переваримость. К ним относятся степень измельчения сырья, термическая, термомеханическая, гидротермическая и другие виды обработки. Каждый способ имеет свои позитивные и негативные стороны (подробно рассмотрено в главе 5).

Величина рациона и длительность кормления. Количество поедаемой пищи определяет скорость ее прохождения по пищеварительному тракту и может влиять на степень переваривания корма в целом и его отдельных частей. По литературным данным [Windell et al., 1978], у форелей при 11 °С различия в величине рационов равных 0,4 и 0,8% массы рыб, не влияли на показатели переваримости. В то же время доза рациона 1,6% достоверно снижала переваримость сухого вещества с 70 до 67% в основном за счет углеводов, доступность которых сокращалась с 53 до 46%.

У канального сома при двукратном увеличении дозы и приближении ее к оптимальной происходило уменьшение переваримости всех органических веществ на 7–20%, причем в максимальной степени – переваримости углеводов [Трудова, 1988].

При избыточном питании проявляется и обратная связь между количеством поглощаемого белка и его переваримостью, что обусловлено сокращением времени контакта корма с пищеварительными соками и всасывающей поверхностью.

Продолжительное питание рыб комбикормом одного состава, особенно при его недостаточной сбалансированности, ухудшает условия его использования в организме рыб. У карпов и форелей, как правило, в течение 2,5–4,0 недель по мере адаптации организма к качеству пищи переваримость сухого вещества возрастает. Далее она начинает снижаться, и особенно резко при несоответствии состава корма потребностям рыб [Щербина, Титарев, 1972; Трямкина, Щербина, 1974].

На этом основании был рекомендован режим сменных рецептур через каждые 1,5–2,0 месяца [Трямкина, Щербина, 1974; Трямкина, 1977]. В настоящее время этот прием с высокой степенью эффективности используется в ряде тепловодных индустриальных хозяйств.

Абиотические факторы. Наиболее сильное влияние на переваримость пищи оказывают температура и кислородный режим.

Температура. При ее повышении с 16 до 27 °С у карпов достоверно снижаются коэффициенты переваримости белков, трудногидролизуемых углеводов и минеральных элементов, а крахмала и моносахаридов возрастают. Этот эффект можно рассматривать как совокупное действие трех процессов: 1 – усиление моторики кишечника, 2 – увеличение скорости продвижения пищи, что сокращает время ее ферментативной обработки, 3 – резкое повышение активности амилаз [Щербина, Казлаускене, 1971]. Аналогичный, но более выраженный эффект выявлен у форели в диапазоне температур 12–16°С при однократном приеме пищи, когда время пребывания корма в пищеварительном тракте сократилось на 10 часов [Трямкина, 1977]. В режиме двухразового кормления Винделл с соавторами [Windell, et al., 1978a] не смогли выявить достоверного влияния изменения температур от 7 до 11 °С и от 11 до 15 °С. По другим данным [Brauge et al., 1995], при изменении температуры с 8 до 18 °С у форели при регулярном кормлении значительно возрастает переваримость крахмала (желатинизированного на 25%, сырого на 33%), а липидов – существенно меньше (на 7–8%), белка – незначительно.

Гипоксия. Акклимация карпов к низкому содержанию кислорода (1,8–2,0 против 4–6 мг O_2/л) не вызвала существенных изменений переваримости нутриентов, а концентрация 8–9 мг/л, напротив, уменьшила ее. В первом случае это было связано с ухудшением аппетита рыб и замедлением перистальтики, во втором – с более активным питанием рыб и усилением моторики кишечника [Щербина, Казлаускене, 1974]. У форели в условиях гипоксии (менее 60% насыщения воды кислородом) переваримость сухого вещества вначале слабо уменьшалась, затем по мере адаптации (4–8 суток), увеличивалась [Poilot, Noüe, 1988]. По-видимому, гипоксия у рыб оказывает опосредованное влияние на переваримость питательных веществ: замедление моторики увеличивает время пищеварения.

Загрязнение воды метаболитами. Накопление в воде продуктов разложения кормов и обмена веществ рыб способно оказывать негативное влияние на переваримость нутриентов [Щербина, Генералова, 1987].

Соленость. Определения, выполненные в нашей лаборатории Н.В. Рекубратским и Т.Е. Родиной, показали, что пищеварительная система карпа массой 23–28 г реагирует на присутствие в воде хлористого натрия снижением переваримости корма. При содержании соли 500 мг/л они наблюдали слабую тенденцию к снижению (с 61,9 в пресной воде до 59,6%). Увеличение ее концентрации в 10 раз вызвало статистически значимое уменьшение переваримости корма до 56%, а концентрация 10 000 мг/л (10‰) – до 45%, т.е. на 28% по отношению к его переваримости при содержании рыб в пресной воде.

Генотип. На примере карпов четырех генотипов (чешуйчатые, голые, разбросанные, линейные) установлена зависимость переваримости и усвоения пищевых субстратов от наследственных особенностей. У чешуйчатых карпов, носителей наследственности дикого сазана, способность переваривать комбикорма, особенно их углеводистые компоненты, менее выражена, чем у рыб с преобладанием наследственности культурных карпов (голых, линейных, разбросанных). Причем, если в показателях переваримости между тремя последними группами статистически достоверных различий не выявлено, то по характеру конверсии питательных веществ группы голых и линейных обнаружили лучшую способность к усвоению переваренных веществ комбикормов, чем разбросанные и тем более чешуйчатые [Щербина, Цветкова, 1974].

Влияние генотипа на активность пищеварительной деятельности подтверждено на различных формах форели [Reinitz et al., 1994] и атлантическом лососе [Torrisen et al., 1994].

2.4.7. Способы повышения переваримости кормов

Как было показано выше, переваривание различными видами рыб современных комбикормов недостаточно эффективно. В среднем переваримость кормов растительного происхождения составляет 45–60%, а кормов с достаточно высокой долей животного сырья – 70–80%, что приводит к недоиспользованию рыбами значительной части питательных веществ. Прежде всего, это относится к белкам, углеводам и минералам. Их выделение в воду вместе с твердыми и жидкими экскретами приводит к опасному загрязнению водной среды азотом и фосфором. Последнее составляет серьезную проблему для индустриальных хозяйств. Поэтому во всем мире ведется активный поиск путей увеличения переваримости и конверсии кормов у рыб.

Наиболее действенным способом является подбор технологии изготовления корма или предварительной обработки сырья. Использование гидробаротермических технологий (экструдирования и экспандирования) способствует изменению структуры и повышению переваримости углеводистой части сырья. Как указывалось выше (см. раздел 2.4.3), именно она, будучи наименее доступным компонентом определяет общую переваримость корма. В опытах на радужной форели [Kaushik et al., 1989] замена в комбикорме, содержащем 40% рыбной муки, 37% сырого кукурузного крахмала в смеси с 9% рыбьего жира на 38–40% экструдированной пшеницы или кукурузы, а также экструдированного пшеничного или кукурузного крахмала привела к возрастанию общей переваримости кормов с 55 до 80% в основном за счет углеводов. Из 25 г дополнительно переваренного рыбами сухого вещества на долю углеводов пришлось 21 г, белка – лишь 4 г. При этом высокий уровень получаемых углеводов не оказывал неблагоприятного воздействия на рост рыб и конверсию белка и энергии. В вышеупомянутых опытах с карпами [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1999] переваримость общих углеводов гороха после экструзии возрастала на 36%, кукурузы и пшеницы – соответственно на 12 и 22%, рапсового и соевого шротов – на 47 и 50%.

С целью повышения переваримости белковой и углеводной частей кормов делаются попытки применения ферментных препаратов. На примере препарата

протосубтилина Г3х-1 нами было показано, что эффект их действия на пищеварительную деятельность рыб невелик. Оказывая слабое влияние на переваримость белка и корма в целом, его действие выразилось скорее в стимуляции обменных процессов, приводящей к усилению роста рыб в среднем на 3–7% и отложению жира [Щербина, Трофимова и др., 1976; Марма, Щербина, 1980]. Применение существующих в настоящее время комплексов амило- и целлюлозолитических ферментов не дают эффекта, сравнимого с экструдированием и экспандированием кормов, ибо последние приводят к глубоким изменениям структуры и физико-химических свойств сырья, приводящим к значительному увеличению их питательности. Определенный позитивный эффект дает обогащение кормов витаминами, о чем свидетельствует большое количество данных литературы. Однако, как правило, их действие связано в основном со стимуляцией роста. Хороший эффект, по увеличению переваримости корма, как указывалось выше, дает его обогащение легкоусвояемым фосфором.

В конце 80-х годов был проведен поиск веществ, которые обладали бы способностью активизировать пищеварительную деятельность рыб, не изменяя питательных свойств кормов. Была апробирована идея использования поверхностно-активных веществ. Предполагалось, что, увеличивая поверхность контакта корма с пищеварительными соками, они должны способствовать повышению его переваримости. Был испытан целый ряд применяемых в пищевой промышленности поверхностно-активных препаратов. Из них были выбраны препараты, представляющие собой эфиры оксикислот со свойствами эмульгаторов, в частности "Фолсы" [ТУ-6-09-517-5-84]. Эффект их введения в корма для карпа в дозах 0,05–0,20% выразился в повышении общей переваримости корма на 20–30% за счет повышения переваримости углеводов на 10–40%, белка – на 10–15% и значительного улучшения доступности минералов. Механизм этого явления – активизация ферментовыделительной и резорбтивной функций пищеварительного тракта рыб [Кузьмина и др., 1990; Щербина, Линник, Кочеткова, 1992; Линник, 1989]. При изучении действия "Фолсов" на организм рыб было выявлено их другое важное свойство – способность повышать усвоение переваренной части корма, в частности белков и углеводов. Аналогичный и более выраженный эффект получен в опытах на форели [Щербина, Линник и др., 1990; Патент № 1550650, 1990].

Заключительные замечания

Известно, что от особенностей функционирования пищеварительной системы зависит ее способность извлекать из пищи вещества, соответствующие метаболическим потребностям организма, а между ее строением и функциями, а также качеством корма существует тесная связь [Уголев, 1985]. В настоящей главе на примере двух видов рыб, резко различных по морфологии и функциям пищеварительных органов, а также по характеру питания – полифаге карпе и хищной радужной форели, – мы предприняли попытку проанализировать в сравнительном аспекте начальный этап ассимиляции пищевых веществ и получить количественную характеристику этого процесса.

Результаты наших исследований [Щербина, 1967, 1970, 1973а, 1980, 1984] позволили выявить общие черты и особенности переваривания качественно различной пищи у рыб, обладающих желудком и не имеющих его.

Обнаружено, что заглоченная пища, независимо от вида рыб, разбавляется эндогенной водой и претерпевает химические изменения сходного характера. Расщепление белков, жиров, углеводов и всасывание их мономеров, а также ряда минеральных элементов (кальция, магния и фосфора) идет у обоих видов одновременно и на всем протяжении пищеварительного тракта.

У карпа процесс резорбции для большинства соединений проявляет четко выраженный проксимо-дистальный градиент. Обнаружено, что локализация максимумов всасывания органических веществ, в частности легкорасщепляемых углеводов и большинства аминокислот, приходится в основном на переднюю расширенную или примыкающую к ней ближайшую часть кишечника. При переходе пищи в дальнейшие участки интенсивность всасывания сокращается, что однако определяется возможностью ферментативного отщепления мономеров от пищевых субстратов, а не способностью медиальных и дистальных частей кишечника к всасыванию.

Передний отдел кишечника карпа, несмотря на свойство растягиваться для приема больших количеств пищи (т.е. депонирующую функцию), по значению в процессах переваривания и всасывания не может быть сравним с желудком; функционально его можно приравнять к верхнему отделу кишечника высших позвоночных, в котором, по данным А.М. Уголева [1967], интенсивность резорбции белков и углеводов в несколько раз выше, чем в последующих.

В то же время в ряде случаев максимумы всасывания тех же веществ можно было наблюдать и на всем протяжении второй половины кишечника. Это дает основание полагать, что функциональные резервы кишечника карпа велики, и его слизистая оболочка способна резорбировать большие количества аминокислот, моносахаридов, липидов, минеральных элементов и других веществ, чем это наблюдалось при переваривании экспериментальных кормов. Фактором, регулирующим процесс, является количество высвобождаемых мономеров. С этих позиций можно говорить о целесообразности применения тех способов технологической обработки сырья, которые способствуют разрушению клеточных оболочек и, изменяя структуру и химические свойства продуктов, улучшают условия атакуемости полимеров пищеварительными ферментами и делают питательные вещества более доступными для рыб.

Одновременно в переднем отделе в ряде случаев обнаруживалось резкое торможение всасывания лизина. Это явление можно было наблюдать при питании карпов кормами, содержащими ингибиторы трипсина (соевый шрот), танины (сорго), госсипол (хлопчатниковый шрот), а также при наличии трудно расщепляемых соединений лизина с углеводами и минералами, резистентных к действию протеолитических ферментов, которые образуются при жесткой влаго-тепловой обработке кормов. Подобная реакция, выраженная в снижении доступности лизина при питании аналогичными кормами, наблюдается также у птиц, свиней и других животных [Кальницкий, Григорьев, 1976], что указывает на сходство специфического действия пищеварительных протеаз низших и высших позвоночных.

Поиск способов разрушения подобных связей и повышения доступности питательных веществ ведется постоянно, и многие эффективные решения, найденные для сельскохозяйственных животных, оказываются полезными также для рыб. В качестве примера можно привести различные способы обработки сырья, применяемые в кормопроизводстве, а также разработанные нами модификации способов детоксикации госсипола хлопчатникового шрота [Щербина, Буховец, 1992].

У форели пищеварительные процессы идут иначе. Основными местами всасывания белков, жиров и углеводов служат тонкая кишка и область, примыкающая к пилорическим придаткам. В процессе адаптации рыб к корму отмечено смещение максимумов всасывания в более близкую к желудку часть кишечника, т.е. пилорические придатки, что свидетельствует об активизации пищеварительной деятельности рыб в определенном временном интервале (в течение 2,5–5,0 недель, по данным С. Трямкиной [1977], которая сопровождается повышением переваримости корма. В то же время максимум всасывания липидов оказался строго локализованным в области пилорических придатков.

По функциональной значимости этот участок может быть приравнен к верхнему отделу кишечника высших позвоночных.

Выяснено, что желудок форели, который, как и у высших позвоночных, служит депонирующим органом, помимо первичной химической обработки пищи, осуществляет и резорбтивную функцию. При определенных условиях в нем может всосаться до 40% липидов, а также более 20% белков и углеводов [Щербина, Трямкина, 1973]. Причем резорбтивная активность желудка форели значительно выше, чем у высших позвоночных [Уголев, 1985], что свидетельствует о более совершенной специализации желудка последних как органа.

В результате комплексного изучения химического состава химуса и интенсивности всасывания питательных веществ у рыб, нами был установлен факт поступления вместе с пищеварительными соками значительных количеств (подчас сопоставимых с их количеством полученным с кормом, или превышающим его) эндогенных азотсодержащих, углеводистых из липидных соединений, а также ряда макроэлементов. Максимум поступления эндогенных веществ отмечен у карпа в переднем отделе кишечника, у форели – в желудке и области пилорических придатков. Было выяснено, что процесс тесным образом связан с качественным составом корма и более выражен в случае несбалансированного питания.

Как указывалось выше, элементы регуляции посредством эндогенной экскреции у форели, имеющей более сложный пищеварительный тракт, выражены сильнее, чем у карпа. Эволюционно выработанная ее адаптация как хищника к относительно стабильному составу пищи способствовала возникновению достаточно сильной и быстрой реакции на нарушение оптимального состава корма. Механизм эндогенной экскреции включался уже при поступлении корма в желудок. Пищевая масса разбавлялась эндогенной водой и нутриентами (особенно в случае питания сухими гранулами) до стабилизации их концентрации в относительно узком диапазоне значений.

Аналогичные процессы обмена веществами между пищевой массой и внутренней средой организма обнаружены у высших животных и человека в гастродуоденальном отделе пищеварительного канала. Эта саморегулирующаяся система, согласно принятой терминологии, обозначается как питательный гомеостаз [Гальперин, Лазарев, 1986].

Проявление высокой степени эндогенной экскреции у форели при испытании новых комбикормов свидетельствует о повышенной напряженности в работе пищеварительной системы и организма в целом и является признаком их неполноценности. В результате при длительном использовании (более 1,0–1,5 мес.) дисбалансированного корма происходят истощение, а нередко и срыв адаптационных механизмов, как следствие, наблюдаются депрессия роста рыб и резкое снижение эффективности кормления.

Феномен эндогенной экскреции можно использовать в качестве экспресс-метода оценки степени сбалансированности корма у форели и у других рыб, имею-

щих желудок. Для этого следует ввести в испытуемый и эталонный (с повышенной питательностью) комбикорма индикатор (1% окиси хрома) и скармливать их рыбам обычным способом в течение 3–5 сут. Для оценки уровня экскреции у форели достаточно определить через 5–8 ч после кормления содержание питательных веществ и Cr_2O_3 в химусе желудка у рыб опытного и контрольного вариантов. Расчеты ведут по формуле "видимой переваримости" (см. раздел 2.4).

В случае проявления эндогенной экскреции получают отрицательные значения. Они показывают, что в желудок, помимо пищевых веществ корма, вместе с пищеварительными соками поступили эндогенные вещества. Сравнивая их количества в испытуемом и контрольном (полноценном) кормах, можно судить о том, соотношения каких питательных веществ нарушены и какова их величина. Анализ характера этих нарушений позволит определить пути к совершенствованию питательности корма.

Конечный результат пищеварительных процессов характеризуется показателями переваримости. Они являются важным элементом при оценке питательных свойств кормов и дают количественную характеристику той их части, которая доступна для организма рыб. Имея сведения о том, какие питательные вещества плохо доступны пищеварительной системе, и рыбы не способны достаточно полно извлекать их из корма, можно выяснить причины этого явления и вести поиск способов повышения переваримости.

Анализ собственных и литературных данных позволил выявить общие закономерности, характеризующие переваримость основных групп питательных веществ растительного, микробиального и животного сырья у различных видов рыб. Установлено, что независимо от происхождения и количественного содержания именно белок и составляющие его аминокислоты являются наиболее доступной частью корма. При этом следует отметить, что животные белки, как правило, перевариваются у рыб лучше, чем растительные; из малобелковой пищи рыбы извлекают в относительном выражении больше белка, чем из высокобелковой; белки свежей пищи перевариваются лучше, чем пищи, хранившейся длительное время. Присутствие в пище антипитательных факторов (ингибиторов протеиназ, продуктов перекисного окисления липидов, собственных токсических веществ и ядов, токсинов микрофлоры и т.д.) препятствует работе ферментов. Нередко эти вещества образуют нерасщепляемые связи с аминокислотами, что резко снижает переваримость белков и доступность для рыб отдельных аминокислот. В результате нарушаются оптимальные соотношения между аминокислотами, которые были подобраны в комбикорм в соответствии с потребностями рыб по их валовому содержанию. В итоге белковая часть корма оказывается не соответствующей предполагаемой питательности.

С учетом специфических особенностей переваримости белков и доступности незаменимых аминокислот различных источников кормового сырья в табл. 8 Приложения дана характеристика их скоров, т.е. степени соответствия потребностям рыб, что должно послужить полезной информацией при балансировке белковой части комбикормов (см. раздел 1.1).

Жиры, также как и белки, относятся к легкоперевариимым веществам. В случае оптимального содержания в корме коэффициенты их переваримости близки к показателям для белка. При недостаточном количестве жиров в пище в организме рыб включается механизм эндогенной экскреции, и происходит пополнение их недостатка во всасываемой смеси за счет тканевых липидов. Насыщенные кислоты с высокой точкой плавления, как правило, доступны хуже, чем моно- и полиненасыщенные. Нами обнаружено влияние способа изготовления рыбной муки на доступность ее жирных кислот. Так, из муки, изготовленной по прессово-сушильной схеме, рыбы могут извлекать в относительном выражении большее количество основных жирных кислот, чем из муки, выработанной по экстракционной схеме.

Переваримость углеводистой части корма определяется химическим строением отдельных структурных групп и их соотношением в корме. Свободные сахара и гликоген обладают высокой доступностью для рыб. Структурные полисахариды

растений, на долю которых приходится значительная часть сухого вещества комбикормов, из-за отсутствия у рыб специфических ферментов перевариваются очень плохо. Трудно переварим и основной полисахарид – крахмал, что связано с особенностями его кристаллической и химической структуры. Это приводит к возникновению в переваримой части кормов недостатка энергии и, в свою очередь, резко сокращает обеспеченность энергией белка. В результате значительная часть белка вынужденно начинает использоваться рыбами в энергетическом обмене, что приводит к снижению его продуктивного действия и сопровождается отложением жира.

В целом углеводная составляющая комбикормов для всех объектов аквакультуры доступна существенно хуже, чем белки и жиры (в среднем 35–60% против 65–90%). Именно от этого зависит общий низкий уровень переваримости комбикормов, состоящих в основном из растительного сырья. В то же время разработаны и в настоящее время широко применяются такие технологические способы предварительной обработки сырья и изготовления комбикормов, как экструзия и экспандирование, позволяющие повысить переваримость у рыб крахмала и ряда других полисахаридов до 80%.

Кроме технологических приемов, существуют и другие способы повышения переваримости: оптимизация состава комбикормов, обогащение их легкоусвояемой энергией за счет липидов, а также фосфором и, возможно, другими минеральными веществами; правильное нормирование и ограничение времени применения комбикормов одного состава; создание оптимальных температурных и кислородных условий среды; подбор генетических групп, обладающих лучшей способностью переваривать искусственные корма, а также введение в корм различных препаратов, способных оказывать непосредственное влияние на активность пищеварительной деятельности.

В заключение следует отметить, что рыбы благодаря эволюционно выработанной у них пластичности способны достаточно хорошо извлекать питательные вещества из несвойственной им пищи, предлагаемой человеком, и трансформировать их в рыбную продукцию. В этой связи важной задачей разработчиков рецептов и изготовителей комбикормов следует считать создание оптимальных условий для работы пищеварительной системы и усвоения питательных веществ в организме рыб. Оказать помощь в решении этих вопросов должны последующие главы книги.

Глава 3

Питательные свойства основных видов кормового сырья для рыб

Сырьевые источники комбикормов представлены продуктами растительного, животного, микробиального и минерального происхождения. Они должны содержать питательные вещества в усвояемой форме и в обычно применяемых количествах не оказывать вредного действия на развитие, рост и состояние здоровья рыб. Кроме того, достоинства кормового сырья определяют такие его свойства, как привлекательность, влияющая на аппетит рыб и скорость потребления комбикорма, доброкачественность, то есть отсутствие порчи и поражения микроорганизмами (грибами, вирусами, бактериями, а также продуктами их жизнедеятельности).

Представленные характеристики более чем 50 видов кормового сырья являются обобщением результатов собственных исследований за 1960–2004 гг., данных производственных испытаний продукционных свойств комбикормов с различным сочетанием компонентов, а также литературных материалов. Они основаны на сведениях о химическом составе продуктов, переваримости их питательных веществ (белков, жиров, углеводов, минеральных элементов) и энергии, доступности незаменимых аминокислот и степени удовлетворения ими потребностей рыб. Кроме того, учитывалось влияние сырья на интенсивность роста рыб, а его специфических особенностей – на обмен веществ.

Как правило, эксперименты выполняли на карпе и форели – основных объектах пресноводной аквакультуры. Эти виды резко различаются по экологии, типу питания и пищеварения. Карп относится к рыбам, предпочитающим теплую воду (оптимум 25–28 °С); излюбленный температурный диапазон форели от 12 до 16 °С. Карп – мирная всеядная рыба, питается непрерывно; у хищной форели характер питания порционный, она заглатывает крупные куски пищи и долго их переваривает. Форель имеет желудок, ее пищеварение идет в последовательно сменяющейся кислой и щелочной среде, тогда как у безжелудочного карпа, обладающего кишечным типом пищеварения, оно осуществляется в нейтрально-щелочной среде.

Установленное нами ранее [Щербина, 1969–1971а, 1973–1973а, 1975, 1980, 1983–1984] сходство реакций карпа и форели – столь различных по экологии и физиологии рыб, на специфические свойства комбикормов и их отдельных компонентов, позволяет предполагать аналогичную реакцию и других объектов рыборазведения, тем более что подобное сходство обнаружено также между рыбами и сельскохозяйственными животными [Чернышов, Панин, 2000].

3.1. Компоненты растительного происхождения

В зависимости от содержания протеина все кормовые средства растительного происхождения обычно делят на две группы: низкобелковые (до 20% белка) и высокобелковые (до 45–60%). К первой группе относят зерно злаковых, ко второй – зернобобовых, остатки семян масличных культур после извлечения масла (жмыхи и шроты), а также некоторые продукты переработки зерна (кукурузный и пшеничный глютены, пшеничные зародышевые хлопья и т.д.).

Химический состав этих кормов варьирует в широких пределах, однако с позиций удовлетворения потребностей рыб, равно как и других животных, в аминокислотах их белки обладают общим недостатком – дефицитом лизина, а нередко и метионина, которые определяют верхний предел их ценности.

Питательные свойства зернобобовых, злаковых и масличных культур в одних и тех же районах могут сильно варьировать. Это обусловлено не только генотипическими особенностями применяемых сортов, но и климатическими условиями сезона, а также технологией возделывания (мелиоративные мероприятия, удобрение, известкование, применение пестицидов и т.д.). Установлено, что удобрения и пестициды вызывают сдвиги в обменных процессах растений, которые нередко выражаются в изменении количества белка, соотношений между его фракциями и отдельными аминокислотами.

Помимо этого, на химический состав растительного сырья оказывают влияние способы его хранения. Оптимальная влажность (зерна – 13–14%, жмыхов и шротов – 10–11%) является основным условием предохранения кормов от поражения микрофлорой. Относительно лучше сохраняются высокоуглеводистые корма (злаковые). Сырье, богатое белком и жиром, как растительного, так и животного происхождения, портится скорее, особенно при высокой влажности, когда в результате микробиологических процессов происходит его самосогревание и прогоркание.

3.1.1. Зерно злаковых и бобовых культур

Зерно относится к наиболее употребительным компонентам комбикормов для большинства видов рыб. По химическому составу зерно злаков причисляется к высокоуглеводистым кормам. Общее количество углеводов может достигать 72–75%, из них на долю крахмала приходится до 57%. Однако, несмотря на достаточное количество углеводов, рыбы могут усваивать только около их половины. Это связано с плохой доступностью для рыб крахмала из-за особенностей его кристаллической структуры, а также с низкой переваримостью "остовых" углеводов, входящих в состав оболочек растительных клеток (так называемых трудногидролизуемых углеводов). К ним относится группа некрахмалистых полисахаридов, которая состоит в основном из целлюлозы (~80%), лигнина (~8%), пентозанов (~10%), гемицеллюлоз. В оболочке зерна целлюлоза находится в связи с гемицеллюлозой (до 50% от всех веществ оболочки), лигнином, пектиновыми веществами, смолами и минеральными веществами.

Содержание протеина в воздушно-сухом веществе зерна злаковых относительно невысокое – 10–12%. Пределы его колебаний могут достигать 8–20%. Количество растворимых фракций невелико – около 18%. Основными незаменимыми аминокислотами, лимитирующими питательную ценность их белков, являются лизин или метионин, или обе в одинаковой степени.

Содержание жира обычно находится в пределах 2–5%. В его составе преобладают триглицериды линолевой, олеиновой и пальмитиновой жирных кислот.

Общая зольность невелика и колеблется в диапазоне 1,5–4,0%. Преобладающими элементами являются фосфор и калий (0,3–0,5%), кальция мало (0,04–0,20%). Фосфор, как правило, находится в форме солей фитиновой кислоты (фитатов), слабо доступных для рыб, особенно для карповых, не имеющих желудка и пепсинового пищеварения в солянокислой среде.

В семенах злаковых находится много различных ферментов, которые не синтезируются в организме животных (карбогидраз, частично гидролизующих не-

крахмалистые полисахариды, включая пентозаны, фосфатаз, гидролизующих фосфоорганические соединения с выделением неорганического фосфора, липоксигеназ, которые замедляют процессы окислительной порчи зародышевого жира и т.д.). Они способствуют расщеплению питательных веществ в прорастающем зерне и в пищеварительном тракте животных. Кроме того, в зерне присутствует также и ряд ингибиторов, тормозящих действие пищеварительных ферментов (например, α-амилазы, ингибиторы трипсина и др.), что предохраняет зерно от преждевременного разложения до прорастания и одновременно снижает его питательность для животных. Ферменты и антиферменты проявляют свою активность не только в процессах переваривания зерна животными, но и при изготовлении комбикормов.

Отрицательной особенностью всех зерновых и продуктов их переработки является высокая степень поражения микроорганизмами. В сообществе микрофлоры присутствуют многие виды бактерий (нередко патогенных), споры и вегетативные тела грибков, способных вырабатывать широкий спектр токсинов. Особую опасность представляют афлатоксины, синтезируемые некоторыми представителями рода Aspergilus при неправильном хранении влажного зерна. Для обеззараживания применяются различные способы стерилизации. Наиболее употребительны – физические, основанные на использовании температуры, давления и облучения.

Питательная ценность зерна для животных резко возрастает после его очистки, а также дробления, т.к. удаление и разрушение оболочек облегчает проникновение пищеварительных ферментов в субстрат переваривания. Особенно эффективен этот прием для пленчатых культур (ячменя, овса, проса, риса и др.), т.к. без отделения пленок оболочка зерна не разрушается.

Примерное содержание основных питательных веществ в зерне злаков в расчете на абсолютно сухое вещество приведено в табл. 28–29.

Пшеница и продукты ее переработки (зерно, отруби, зародышевые хлопья, витазар, витал). ***Зерно пшеницы.*** Пшеница в чистом виде, прежде всего как носитель энергии углеводов, является среди злаковых одним из наиболее питательных и употребительных компонентов комбикормов. Для кормовых целей, как правило, используется некондиционное зерно, имеющее пониженные хлебопекарные качества, а также непригодное для продовольственных целей из-за засоренности другими видами зерна.

Фуражная пшеница очень изменчива по химическому составу. К примеру, в расчете на абсолютно сухое вещество содержание сырого протеина в ней колеблется от 6 до 22% (в среднем 8–14%) (см. табл. 28). Ее белки дефицитны по лизину и метионину (табл. 32). Основная лимитирующая аминокислота–лизин (скор–30%), т.е. белки пшеницы способны удовлетворить лишь 1/3 потребности рыб в лизине. При дефиците лизина остальные аминокислоты расходуются непродуктивно и используются в энергетическом обмене. На долю углеводов приходится около 65–82%, из них на крахмал – около 55–62%, сахара – 2,5–4,0%, сырую клетчатку – 1,7–6,2%. Имеет сравнительно небольшое количество трудноперевариимых некрахмалистых полисахаридов (~ 9%). Среди них на β-глюканы приходится 0,8%, пентозаны (арабаны и ксиланы) – 5,4%, гексозаны (маннаны и галактаны) – 0,8%, пектины – 0,4%, целлюлозу – 1,6% [Чернышов, Панин, 2000]. В составе жиров пшеницы (2,0–3,0%) основное место занимает линолевая кислота (45%), на долю олеиновой и пальмитиновой приходится по 18%. Содержание зольных элементов колеблется в диапазоне 1,0–3,7%, доля калия и фосфора составляет около 0,4%. Пшеница хорошо обеспечена витаминами B_1, B_4, B_5 и B_6. Содержание рибофлавина (B_2) относительно низкое.

Пшеница обладает способностью синтезировать различные вещества, снижающие ее пищевую ценность. К ним относятся: *ингибиторы трипсина* (их количество значительно меньше, чем у бобовых), *лектин, фитаты*, снижающие доступность фосфора, и ряд других веществ, образующихся во влажном зерне. Повышенная влажность зерна (более 14%) при температуре 20–22 °С способствует росту грибов рода Fusarium, продуцирующих три вида опасных для рыб токсинов:

Таблица 28. Усредненное содержание основных питательных веществ в пшенице и ржи и продуктах их переработки (на абсолютно сухое вещество)

Показатели	Пшеница					Рожь		Ячмень, зерно
	Зерно	Отруби	Зародыши, хлопья	Витазар	Витал	Зерно лущеное	Отруби	
Валовая энергия, МДж/100 г	1,86	1,90	2,48	2,04	1,6-1,9	1,86	1,83	1,72
Сырой протеин, %	14,5	17,8	36–42	29–36	17–20	13,4	18,0	13,0
Сырой жир, %	2,5	4,8	8–13	3–6	3–5	2,3	2,0	3,0
Углеводы, сумма, %,	80,5	73,0	58,9	62–53,4	62–71	82,2	75,0	80,6
В том числе:								
крахмал	60,0	–	30,0			61,3	–	57,0
свободные сахара	3,0	5,5	24,6			1,7	–	2,4
клетчатка	3,3	10,3	4,3		7,0	2,6	9,4	6,3
Сырая зола, %,	2,5	4,4	4,5–6,3	4,6	5–6	2,1	5,0	3,4
В том числе, мг/100 г:								
кальций	240	335			100	160	129	220
фосфор	440	870	1800	1000	1800	530	670	520
магний	240	506				150	390	260
калий	400	1280				560	800	588
натрий	23	106				12	13	94
железо	4,7	20				7,4	15	6,0
цинк	2,7	9,5				2,4	5,4	3,7
марганец	5,4	13,8				3,6	10,5	1,6
медь	0,80	1,30				0,80	1,30	0,60
йод	0,007	0,20				0,01	0,005	0,03
кобальт	0,003	0,01				0,008	0,014	0,012
Витамины, мг/100 г:								
каротин	0,12	0,31				0,23	0,12	0,06
Е – α-токоферол	1,40	2,46	16–60			1,82	1,18	5,90
B_1 – тиамин	0,54	0,70				0,48	0,55	0,41
B_2 – рибофлавин	0,16	0,34				0,21	0,30	0,13
B_3 – пантотеновая к-та	1,13	2,76				0,90	2,06	1,10
B_4 – холин	114	153				53	71	129
B_5 – никотиновая к-та	6,18	17,6				1,55	16,5	7,0
B_6 – пиридоксин	0,72	1,76				0,32	1,50	0,36
B_7 – биотин (витамин Н)	0,01	0,05				0,007	–	0,03
B_c – фолиевая к-та (B_9)	0,05	0,20				0,07	–	0,06

Примечание. Источники информации: Щербина, 1973; Нормы и рационы..., 1985; Минеральный состав кормов, 1986; Справочные сведения..., 1990; Щербина и др., 1968–1999.

трихотеценовый Т-2 токсин, дезоксиниваленол (ДОН) и зеараленон (Ф-2) [Галаш и др., 1987].

Тепловая обработка убивает грибы, но токсины устойчивы к ней. При сильном поражении зерно становится щуплым и приобретает беловатую окраску иногда с малиновым оттенком. Поэтому при использовании фуражного зерна пшеницы в кормлении рыб обязателен контроль его качества.

В экспериментах с монодиетой пшеницы на различных видах рыб было показано, что ее белки и липиды перевариваются достаточно хорошо, углеводы — зна-

чительно хуже (см. табл. 31). У карпа коэффициент переваримости белков гранулированной пшеницы составляет в среднем около 80–84%, легкогидролизуемых углеводов – 58–64%, клетчатки – 10%. Переваримость всех питательных веществ (по сухому веществу) 51–65%, энергии – 54%. Реакция пищеварительной системы осетра аналогична.

Таблица 29. Усредненное содержание основных питательных веществ в зерне некоторых злаков и продуктах их переработки (на абсолютно сухое вещество)

Показатели	Кукуруза (желтая)		Овес	Сорго	Рис	Просо
	зерно	глютен				
Валовая энергия, МДж/100 г	1,92	2,06	1,87	1,86	1,81	1,86
Сырой протеин, %	10,6	50–70	12,7	12,1	8,8	12,7
Сырой жир, %	5,5	4,0–7,0	4,7	0,5–2,6	0,9	3,8
Углеводы, сумма, %	82,2	30–42	78,8	80–90	89,0	80,0
В том числе:						
крахмал	70,8	20–45	37,6	61,0	66,0	47,0
свободные сахара	3,8	0,5–2,0	2,9	5,3	2,9	2,1
клетчатка	2,6	2–4	11,4	3,9	2,1	10,8
Сырая зола, %	1,7	2–6	1,9–3,8	1,3–3,1	1,3	1,5–3,5
В том числе, мг/100 г:						
кальций	59		210	140	120	106
фосфор	612		470	353	340	600
магний	165	900	220	212	140	140
калий	612		640	412	340	520
натрий	153		210	50	50	11
железо	3,8		4,8	5,9	4,7	5,9
цинк	3,6		2,7	1,6	2,4	4,1
марганец	0,5		6,6	1,8	4,2	2,1
медь	0,30		0,60	1,20	0,80	2,0
йод	0,014		0,011	0,002	0,002	0,002
кобальт	–		0,008	0,0001	0,008	0,003
Витамины, мг/100 г:						
Каротин	0,80		0,15	0,14	0,01	0,23
Е – α-токоферол	2,66		1,52	1,28	1,53	0,94
B_1 – тиамин	0,47		0,86	0,49	0,09	0,82
B_2 – рибофлавин	0,14		0,11	0,13	0,05	0,08
B_3 – пантотеновая к-та	0,88		1,50	1,38	0,39	1,08
B_4 – холин	53		106	74	106	52
B_5 – никотиновая к-та	3,95		1,53	4,82	1,94	3,36
B_6 – пиридоксин	0,51		0,22	0,55	0,05	0,41
B_7 – биотин (витамин Н)	–		–	–	–	0,02
B_c – фолиевая к-та (B_9)	–		–	–	–	0,03

Примечание. Источники информации: Щербина и др., 1968–1999; Щербина, 1973; Нормы и рационы..., 1985; Минеральный состав кормов, 1986; Справочные сведения..., 1990.

У другого представителя осетровых – бестера, также как и у форели, значительно хуже перевариваются углеводы и, как следствие, – общее количество корма. Экструдирование зерна способствует повышению его общей переваримости (на 14–17%) в основном за счет углеводно-лигнинного комплекса, доступность которого для рыб возрастает на 20–25%. При этом существенных изменений в соотношении доступности и скорах незаменимых аминокислот для карпа не выявлено (табл. 30).

Таблица 30. Содержание (% белка), доступность для рыб (% от поступивших с кормом) и скоры (% от потребности) доступных незаменимых аминокислот пшеницы и продуктов ее переработки

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
Пшеница (Г)											
Карп (1)											
Содержание	2,1	2,1	4,4	3,5	1,2	3,9	4,3	3,0	5,6	3,0	12,9
Доступность	93	93	96	82	88	88	95	92	95	83	
Скор	30	81	73	74	48	75	89	75	95	78	
Форель (2)											
Содержание	2,7	2,2	4,5	3,8	1,5	5,6	4,8	4,3	10,9	3,9	11,2
Доступность	79	83	68	70	71	80	80	79	82	80	
Скор	35	114	52	76	37	144	128	142	98	80	
Осетровые (3)											
Скор	40	113	85	79	116	80	94	62	58	–	14,5
Пшеница (Г/Э)											
Карп (4)											
Содержание	2,1/2,3	2,1/2,1	4,8/5,0	3,9/3,9	1,2/1,3	4,6/4,4	4,4/4,3	3,6/3,5	7,0/6,8	2,9/3,3	15,5/16,8
Доступность	90/98	81/80	76/82	83/79	86/86	86/82	88/85	86/85	90/85	76/65	
Скор	29/31	71/70	63/71	82/80	47/51	85/78	85/80	84/91	102/94	69/67	
Пшеничные отруби											
Карп (4)											
Содержание	3,6/3,6	3,5/3,4	6,7/6,4	4,9/5,3	2,2/2,1	4,9/5,5	4,8/4,8	3,8/4,3	7,5/7,9	3,7/3,7	19,0/19,6
Доступность	85/82	75/78	81/85	75/77	85/81	75/77	77/79	76/78	79/80	72/77	
Скор	46/45	109/108	94/94	94/105	85/78	80/93	80/83	78/91	96/102	83/88	
Пшеничные зародышевые хлопья (ПЗХ) (5; 6)											
Содержание	5,5–7,3	2,5–4,0	7,3–8,7	2,6–4,6	1,2–1,7 1,8**	4,1–5,0	3,7–4,2	2,5–3,6	4,4–5,2	2,9 1,2****	36–42
Витал – мука алейронового слоя пшеницы											
Содержание (7)	3,8	2,8	6,3	3,1	1,3/2,8***	4,0	3,7	2,7	5,2	2,3	19,2

*При недостатке заменимого тирозина утилизируется незаменимый фенилаланин. **Метионин + цистин. ***Цистин. ****Триптофан.

Примечания: 1. Г/Э – гранулированные/экструдированные.

2. Источники: 1 – Щербина, 1973; 2 – Сергеева, 1989; 3 – Абросимова, 1997; 4 – Щербина, Салькова, Гамыгин, 1999; 5 – Сергеева, 1997; 6 – Kaushik, 1990; 7 – Чернышов, Панин, 2000.

Цельное зерно пшеницы карп поедает охотно. В прудах при хорошо развитой естественной кормовой базе он хорошо растет при кормлении зерном. Затраты пшеницы в случае слабой обеспеченности карпов естественной пищей составляют 3,0–3,5 кг на 1 кг прироста массы рыб, при хорошей – 1,8–2,5 кг.

Традиционный опыт рыбоводства свидетельствует, что кормление карпа цельным зерном пшеницы целесообразно проводить при плотности посадки двухлеток до 3,5 тыс/га и в основном в августе – сентябре. До этого времени рыба должна получать комбикорм. При больших плотностях посадок зерно пшеницы следует применять в третьей декаде августа и в сентябре – октябре. В этот период резкого сокращения роста и накопления жира зерно пшеницы полностью удовлетворяет потребность организма рыбы в энергии и обеспечивает поддерживающий обмен необходимым количеством белка. В результате можно экономить дефицитный белок и дорогой комбикорм.

Перед поеданием рыбами зерно обязательно должно набухнуть в воде, иначе оно травмирует кишечник и выводится из пищеварительного тракта слабо переваренным. Поэтому цельное зерно постепенно подмешивают к комбикорму с тем расчетом, чтобы рыба поедала в первую очередь комбикорм, а зерно при этом набухало. Зерном заменяют сначала 1/4 суточной нормы комбикорма, затем его долю постепенно увеличивают. Более подробно технология применения зерна при выращивании карпов в прудах описана в нашей работе [Щербина, Сапаров, Раденко, 1992].

Для форели, лосося и других видов рыб пшеница также является одним из традиционных питательных компонентов комбикормов. Благодаря наличию неплохо переваримых углеводов и аминокислот, хорошо дополняющих энергией и аминокислотами животные и дрожжевые компоненты комбикормов, присутствие в них до 15–20% пшеницы считается полезным. Кроме того, измельченная пшеница служит связующим материалом.

Оптимальные дозы и предельное содержание пшеницы и продуктов ее переработки в комбикормах для различных видов рыб приведены в табл. 6–7 Приложения.

Пшеничные отруби. Отруби представляют собой грубые наружные покровы зерна, отделяемые от пшеницы при ее промышленном помоле (~25%). Помимо оболочки, в отруби переходит алейроновый слой, в котором концентрируются белки семени и частично зародыш. Они являются наиболее дешевым и доступным сырьем.

Питательные свойства отрубей зависят от содержания в них мучнистых частиц: чем меньше в отрубях муки и больше оболочек, тем ниже их питательная ценность. Однако отруби, в отличие от цельного зерна, из которого они получены, содержат в 1,3–1,5 раза больше достаточно ценного протеина; они богаче жиром и клетчаткой, но беднее безазотистыми экстрактивными веществами, в частности, крахмалом (см. табл. 28). В отличие от цельного зерна пшеницы отруби имеют более благоприятный для рыб аминокислотный состав. Однако первой лимитирующей аминокислотой остается лизин (скор-46%, см. табл. 30). Отруби имеют относительно высокое содержание фосфора, который, как и в зерне, находится в виде фитатов, плохо доступных для рыб (табл. 31). Отруби богаты калием и витаминами группы В (B_1, B_4, B_5, B_6, B_7).

Отрицательное свойство отрубей – низкая переваримость у рыб сухого вещества. Она составляет около 42%. Это означает, что более половины питательных веществ, содержащихся в пшеничных отрубях, недоступны действию пищеварительных ферментов и недоиспользуются карпом (белок переваривается на 44%, липиды – на 74%, углеводы – на 40%).

Питательная ценность отрубей может быть повышена с помощью экструзии. Она вызывает резкие изменения в структуре оболочки, разрушая ее, а также в химическом составе питательных веществ. В результате повышаются переваримость белков, доступность аминокислот и лигно-целюлозного комплекса (см. табл. 30 и 31).

Таблица 31. Коэффициенты видимой переваримости основных питательных веществ и энергии зерна злаков и продуктов их переработки у различных видов рыб, % съеденных

Вид сырья, вид рыбы	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы				Сырая зола	Фосфор	Энергия	Переваримая энергия, МДж/100 г
				легкогидролизуемые	лигнин	клетчатка	общая сумма				
Пшеница, зерно											
Карп (1; 2)	51; 65/74	86; 84/79	68Э; 82/79	58; 65/77	Н 40/11	10; 53/57	49; 60/73	91/90	60/52	49; 54/62	0,9–1,0/1,1
Форель (3; 4)	35; 48/72	92; 82/82	–	–	–	–	–	–	–	46; 49/70	0,8; 0,8/1,2
Осетр (3)	55	90	87	–	–	–	55	46	–	–	–
Бестер (3)	32	95	52	–	–	–	34	Э	–	–	–
Пшеничные высевки											
Карп (5)		85	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Форель (3; 5)	35	92–95	–	–	–	–	–	–	–	46–53	0,76–0,87
Канальный сом (5)	–	88–92	–	–	–	–	–	–	–	60	–
Пшеничные отруби											
Карп (1; 2)	42/54	44/73	74/64	62/62	Н 22/22	Н 4,5/10	40/49	42Э/48	11/44	47/55	0,88/1,01
Форель (6)	–	65–68	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8–1,0
Пшеничные зародыши											
Форель (6)	–	77	–	–	–	–	–	–	–	–	1,30
Жмых из пшеничных зародышей (витазар)											
Карп (7)	79	92	61	–	–	–	79	32	79	83	1,55
Мука алейронового слоя пшеницы, “витал”											
Карп (13)	64	14	77	–	–	–	78	30	64	63,5	1,14
Ячмень											
Карп (1; 2)	62*; 65/69	81*; 72/72	Э*; 83/77	74*; 67/72	Н* 60/9	0,6*; 50/53	59*; 64/72	52/27	45*; 74/69	62*; 67/69	1,1*; 1,2/1,3
Осетр (3)	–	89	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Рожь											
Карп (1)	55	59	Э	84	–	–	60	Э	39	60	0,84
Ржаные отруби											
Карп (8)	43	54	39	75	–	24	46	58Э	29	40	0,73

Окончание табл. 31

Вид сырья, вид рыбы	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы				Сырая зола	Фосфор	Энергия	Переваримая энергия, МДж/100 г
				легкогидролизуемые	лигнин	клетчатка	общая сумма				
Овес											
Карп (1)	58	67	24	75	–	24	58	–	26	58	1,03
Сорго											
Карп (3)	61	62	87	–	–	–	61	40	44	60	–
Форель (3)	22	65	81	–	–	–	19	5	–	–	–
Бестер (3; 4)	32	62	83	–	–	–	46	Э	–	–	–
Просо											
Карп (9)	53	76	83	–	–	–	52	47Э	64	53	1,0
Рис											
Карп (9)	61	47	99		–	–	65	20Э	60	63	1,1
Рисовые отруби											
Белый амур (10)	5	71	73	–	–	–	–	–	–	22	–
Канальный сом (5)	–	73–78	–	–	–	–	–	–	–	50–53	–
Тритикале											
Форель (4)	61	80	–	–	–	–	–	–	–	60	–
Кукуруза											
Карп (7; 11)	64; 66/69	77; 71/79	Э; 82/80	–, 66/69	–, Н30/15	–, 59/65	76; 64/68	Э; 62/30	54; 51/60	67; 69/71	1,3; 1,3/1,4
Форель (5)	23; 46	95; 85	71	–	–	–	–	–	–	39; 51	0,66; 1,07
Канальный сом (5)	–	96; 97	–	–	–	–	–	–	–	25; 57	–
Белый амур (10)	65	51	19	–	–	–	88	33	–	55	–
Кукурузный глютен											
Карп (12)	49	49	3,5	–	–	–	61	37Э	13Э	51	1,0
Форель (4; 5; 6)	23	92; 96	–	–	–	–	–	–	–	29–83	0,54
Канальный сом (5)	–	80; 92	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Мука из кукурузного глютена											
Форель (4)	80;91	96;95	–	–	–	–	–	–	–	83;92	1,76

*Дробленое зерно.

Примечания: 1. Перед чертой – гранулированные, за чертой – экструдированные; Э – эндогенная экскреция обменных фракций минералов; Н – новообразование в результате ферментативного гидролиза различных групп углеводов.

2. Источники информации: 1 – Щербина, 1973; 2 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996; 3 – Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985; 4 – Cho, 1993; 5 – Jauncey, 1995; 6 – Kaushik, 1990; 7 – Щербина, Гамыгин, Салькова, Першина, 1999; 8 – Трофимова, Щербина 1982; 9 – Щербина, Салькова, Трофимова, 1986; 10 – Lowl, 1986; 11 – Щербина, Трофимова, Салькова, 1987; 12 – Щербина и др., 2001; 13 – Щербина, Салькова, Першина, (публикуется впервые).

Другое отрицательное свойство отрубей – их слёживаемость. Она обусловлена капиллярно-пористой структурой оболочек зерна, благодаря которой отруби обладают повышенной гигроскопичностью: при высокой влажности воздуха они быстро сорбируют воду и могут сильно слеживаться за короткий срок (1 мес.). В этой среде быстро развиваются патогенная микрофлора (в частности, токсинообразующие грибы из рода *Aspergillius*) и насекомые-вредители. Кроме того, под воздействием большого количества активных ферментов, катализирующих гидролиз и окисление жира, происходят его быстрое прогоркание и образование ядовитых продуктов перекисного окисления липидов. Все это делает отруби плохо хранимым сырьем, быстро приобретающим токсические свойства. Стерилизация отрубей и частичное разрушение токсинов происходят при экструзии, что существенно увеличивает сроки их хранения. Интересно отметить, что после экструзии пшеничные отруби теряют репеллентные и приобретают аттрактивные свойства для личинок карповых рыб. Это обстоятельство делает желательным включение экструдированных отрубей в комбикорма для молоди [Вострошкин, 1998].

Полная замена всех злаковых или их отдельных видов на отруби приводит к снижению продукционных характеристик комбикормов для карпа. Кроме того, в наших опытах отмечено, что при введении в комбикорма больших количеств необработанных отрубей у рыб наблюдались замедление роста и обводнение организма. Все это свидетельствует о нежелательности замены в комбикормах большого количества злаковых на пшеничные отруби. При острой необходимости такой замены следует увеличить энергообеспеченность кормов за счет жировых добавок и сбалансировать минеральную часть.

Пшеничные зародыши, витазар, витал относятся к новым видам кормового сырья, нашедшего промышленное применение.

Пшеничные зародыши вместе с оболочками отделяются от зерна в процессе изготовления муки. Современное оборудование мельниц позволяет отсеивать их от отрубей и получать продукт под названием "пшеничные зародышевые хлопья" (ПЗХ). По внешнему виду ПЗХ представляют собой светло-желтые чешуйки массой 0,03–0,04 мг с приятным хлебным запахом и сладковатым вкусом, маслянистые на ощупь, легко подвергающиеся измельчению.

Содержание питательных веществ в ПЗХ подвержено значительным изменениям, несмотря на достаточно постоянный химический состав самих зародышей. Это связано с нестабильностью количества отрубей в продукте, определяемого конструктивными особенностями применяемого мельничного оборудования. Соотношение отрубей и зародышей в ПЗХ может колебаться в диапазоне 90:10–65:35.

При средней влажности 14% содержание сырого протеина может изменяться от 29 до 41% и более, составляя в среднем 36%, сырого жира 8–13%, золы – 4–6% (в среднем 5%). Углеводы в сумме составляют 37–52%. Среди них на долю крахмала приходится около 30%, свободных сахаров – 11–25%, клетчатки – 4–6% (в среднем 5%).

В составе белков пшеничных зародышей преобладают хорошо усвояемые рыбами растворимые фракции. Аминокислотный состав благоприятен для рыб (см. табл. 30). Высокий уровень серосодержащих аминокислот, фенилаланина с тирозином и триптофана делают целесообразным сочетание ПЗХ с большим числом компонентов, дефицитных по этим кислотам.

В составе липидов преобладают линолевая (69%) и пальмитиновая жирные кислоты (табл. 32). В минеральном комплексе основная часть приходится на долю фосфора, калия и магния (в сумме около 80%). ПЗХ содержит в больших количествах витамины группы В и ряд биологически активных веществ. Отличительная особенность витаминного состава – очень высокое содержание активной формы витамина Е (160–600 мг/кг). По его уровню ПЗХ значительно превосходят все растительные и животные источники. Переваримость белка зародышей у форели колеблется между 77 и 85%.

Согласно данным Н.Ф. Шмакова с соавторами [1997], пшеничные зародышевые хлопья способны заменять в кормах для форели 30–40% рыбной муки от ее

общего количества в рецепте. Есть данные, что ПЗХ наряду с кукурузными хлопьями могут служить частичными заменителями сырья животного происхождения в рыбных комбикормов. Однако их включение в комбикорма может привести к порче последних во время хранения за счет усиления процессов перекисного окисления липидов. Для предотвращения этого явления была предложена предварительная влаго-тепловая обработка хлопьев и показана эффективность экструдирования ПЗХ при включении их в корма для форели. В опытах с молодью белуги [Пономарев и др. 1997] было показано, что пшеничные зародышевые хлопья при кормлении годовиков могут не только служить источниками биологически активных веществ, но и выполнять функцию антидотов, предотвращающих токсический эффект окисленного жира рыбной муки. В то же время, по нашим данным [Щербина и др., 1999], карп отрицательно реагирует на полное замещение рыбной муки в комбикормах пшеничными зародышевыми хлопьями, и эту замену нельзя признать адекватной.

Таблица 32. Содержание основных жирных кислот в общих липидах некоторых злаков, % общей суммы жирных кислот

Жирные кислоты		Пшеница				Кукуруза (3)	Сорго (3)
Название	Код	зерно (1)	отруби (1)	зародыши			
				хлопья (2)	витазар (2)		
Насыщенные:							
миристиновая	14:0	1,8	0,7	0,1	0,1	–	–
пальмитиновая	16:0	17,7	16,3	17,4	16,6	8–13	13,0
стеариновая	18:0	2,0	1,6	0,5	0,5	0,7–3	1,3
Сумма			24,9	20,1	18,2	17,5	
Мононенасыщенные:							
пальмитоолеиновая	16:1 n-7	1,9	0,9	0,2	0,2	–	–
гептадеканолевая	17,0	1,4	0,4	–	–	–	–
олеиновая	18:1 n-9	17,8	21,0	10,5	11,2	23–31	29,0
эйкозамоноеновая	20:1 n-9	1,5	1,7	1,1	1,1	–	–
цетолеиновая	24:1	0,6	1,7	0,2	0,2	–	–
Сумма		24,0	26,4	12,1	12,7		
Полиненасыщенные:							
гексадекадиеновая	16:2	–	–	–	–	–	–
гексадекатриеновая	16:3	–	–	–	–	–	–
линолевая	18:2 n-6	45,3	46,8	69,4	67,6	54–67	44,0
линоленовая	18:3 n-3	3,4	4,4	–			
арахидоновая	20:4 n-6	0,2	0,3	0,1	0,3		
эйкозапентаеновая	20:5 n-6	1,5	0,9	Следы	0,3	–	–
докозапентаеновая	22:5 n-3	Следы	0	–	–	–	–
докозагексаеновая	22:6 n-3	0,5	1,0	–	–	–	–
Сумма		51,2	53,5	69,6	68,2		

Примечание. Источники: 1 – Щербина, Салькова, 1991 (неопубликованные данные); 2 – Сергеева, 1989; 3 – Ржавская, 1976.

По всей вероятности, различия в реакции карпа и форели на замену рыбной муки на ПЗХ связаны с ее количеством в комбикормах. Если в кормах для молоди и годовиков форели уровень рыбной муки достигает 45–48%, то в продукционном корме для сеголеток карпа – лишь 9%. Подобные различия объяснимы не столько с позиций физиологических особенностей организма форели, в частно-

сти пищеварительной системы, сколько с нивелирующим действием больших количеств рыбной муки, которая сглаживает возникающий в комбикорме дисбаланс эссенциальных аминокислот и других факторов.

Главный недостаток ПЗХ как кормового средства – быстрая окисляемость и прогоркание жиров. Для устранения этого отрицательного эффекта предпринимается влаготепловая обработка в щадящем температурном режиме с последующим отжимом зародышевого масла. Обезжиренные зародышевые хлопья (жмых) получили название "витазар".

Витазар. В кормлении карпа витазар показал себя высокопродуктивным кормовым средством, имеющим оптимальное содержание белка, его очень высокую переваримость (92%), большое количество хорошо переваримых (на 79%) углеводов и высокую доступность фосфора (79%), а также благоприятное для карпов соотношение переваримых белковых и безазотистых веществ 1,0:1,5 (см. табл. 28, 31–32). В специальных опытах монодиетой из витазара (при ограниченном суточном рационе карпа ~2,6%) наблюдались хороший рост рыб, высокая степень конверсии питательных веществ и энергии корма, что сопровождалось низким значением кормового коэффициента ~2 [Щербина, Гамыгин, Салькова, Першина, 1999; Щербина, Салькова, Першина, 2001].

В серии экспериментов ВНИИПРХ было установлено, что витазар в эквивалентных количествах (10–18%) может служить хорошим заменителем эприна и других кормовых дрожжей.

Высокий эффект дает включение витазара в комбикорма для форели и других ценных объектов аквакультуры. Результаты исследований ВНИИПРХ позволили доказать целесообразность замены значительной части (от 20 до 50%) рыбной муки на витазар в стандартных комбикормах для форели и осетровых рыб без снижения их физиологической полноценности и продуктивного действия. На основе витазара разработаны принципиально новые рецептуры малокомпонентных комбикормов для форели. В их составе, помимо рыбной муки, рыбьего жира и витаминно-минерального премикса, содержится до 75% ПЗХ или витазара. Расход таких кормов на 1 кг прироста форелей составляет от 0,8 до 1,3 кг при нормальном росте рыб [Шмаков и др., 2000]. В комбикорма для осетровых витазар целесообразно включать в количестве от 15 до 30%.

Хороший эффект ПЗХ и витазар дают в комбикормах для угря и других рыб.

Витал. Представляет собой продукт, который извлекают из мукомольных отходов при изготовлении высокосортной пшеничной муки. Его основой служит алейроновый слой зерна, состоящий из гранул запасного белка, погруженных в углеводы. Слой располагается на границе между жесткими поверхностными оболочками и крахмалоносной тканью (эндоспермом) и находится в непосредственном контакте с зародышем. Поэтому при производстве витала в продукт попадают жесткие оболочки, эндосперм и частично зародыши. Уровень сырого протеина в витале существенно выше, чем в зерне и колеблется в пределах 17–20% (см. табл. 28). Относительное содержание жира составляет 3–5%, зольных элементов – 5–6%. Общее количество углеводов достигает 62–70%, в том числе крахмала – 53–65%. Содержание клетчатки колеблется около 7%, что в 2 раза больше, чем в цельном зерне и в 1,5 раза меньше, чем в отрубях. Валовое содержание незаменимых аминокислот в витале более благоприятно для рыб, чем в цельном зерне, (см. табл. 31). По отношению к сырому протеину он имеет в 1,8 раза больше лизина и в 1,4 раза – аргинина. Относительно высокий уровень протеина и незаменимых аминокислот (лизина и аргинина), а также большее количество энергетически ценных углеводов послужили основанием для испытаний витала в качестве сырья в комбикормах для рыб.

Оценка питательных свойств витала в кормлении годовиков карпа была проведена по широкому комплексу биологических и физиологических показателей в модельных условиях монодиеты во ВНИИПРХе.

В физиологическом плане изучение переваримости основных питательных веществ витала (см. табл. 31) позволило установить, что наиболее легко и полно рыбы извлекают из этого продукта лишь углеводы и жиры (около 78%). Зольные

элементы доступны значительно хуже (~30%); исключение составляет фосфор, который усваивается в 2 раза лучше. Наименее доступной частью корма оказался сырой протеин. Его переваримость составила всего 14%. В то же время в аналогичных опытах с отрубями переваримость протеина колебалась около 44%, с зерном пшеницы – 86%, а в опытах с витазаром достигала 92%.

Подтверждением объективности обнаруженного явления служат рыбоводно-физиологические результаты испытаний этого продукта (табл. 33).

Таблица 33. Накопление массы, веществ и энергии в теле молоди карпов в период ростовых экспериментов по оценке питательных свойств витала (г, кДж/100 г первоначальной массы)

Вариант питания рыб	Масса	Вода	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы	Зола	Фосфор	Энергия
Витал (17,4% протеина, 3,5% жира)	13,2	9,7	3,5	0,45	1,3	11,1	0,6	0,05	91
Комбикорм (23,3% протеина, 3,2% жира)	33,8	21,3	12,5	6,2	6,8	1,4*	0,7	0,2	388
Витал, % к комбикорму	39,0	45,5	25,6	7,3	18,8	>12 раз	85,7	25,0	23,5

*Убыль в процессе роста.

Примечание. Накопление (Н), 100 г массы до опыта: $H = (M_1П_1 - M_0П_0)/M_0$, где M_0, M_1 – масса (г) и $П_0$, $П_1$ – содержание веществ (%) и энергии (кДж/100 г) в теле рыб в начале и конце экспериментов соответственно [Щербина, 1983].

По сравнению с рыбами, которые в этой серии опытов питались полноценным сбалансированным комбикормом ВБС-РЖ, в варианте с виталом (даже с учетом ожидаемой разницы из-за более низкого содержания протеина) отмечено существенно меньшее (в 4 раза) накопление органических веществ. При большем обводнении прироста интенсивность синтеза протеина была ниже в 14 раз, липидов – в 4 раза, а углеводов – более чем в 12 раз. Анализ соотношения белков, жиров и углеводов в синтезируемой ткани позволил выявить у рыб, питавшихся виталом, патологические сдвиги в пластическом обмене. Интенсивность накопления углеводов превышала отложение белка в 25 раз, липидов – в 2,8 раза, минеральных веществ – в 1,4 раза. В то же время в условиях нормального питания комбикормом на единицу синтезируемого белка накапливались 1,1 единицы липидов, 0,15 ед. минеральных веществ и терялось 0,22 ед. углеводов.

Все описанное происходило на фоне более активного потребления витала по сравнению с комбикормом, в 2 раза меньшей среднесуточной скорости роста рыб и в 3,8 раза больших затратах корма на прирост массы.

Эксперименты по оценке эффективности витала, как кормового средства, были проведены и в прудовых условиях. Испытания вели на фоне стандартного комбикорма рецепта 110-1 для сеголеток карпа, 15% которого было заменено на витал. По истечении 2 мес. рыбы, питавшиеся этой кормосмесью и имевшие доступ к естественной пище, затрачивали на прирост 1 кг массы на 22% больше корма, чем в варианте с контрольным комбикормом 110-1.

По всей вероятности, низкая эффективность витала, как кормового средства в кормлении рыб связана со специфическими особенностями физико-химических свойств алейронового слоя. Во-первых, запасные белки алейроновых зерен защищены прочными полисахаридными оболочками, которые слабо поддаются механическому и химическому разрушению при переваривании, а поэтому плохо доступны пищеварительным ферментам рыб. Во-вторых, значительная часть азота (около 20%) не входит в состав аминокислот, являясь частью структурных полисахаридов алейроновых зерен, и поэтому не может непосредственно использоваться для синтеза белка. В-третьих, в зерне имеются антиферменты – ингибиторы протеиназ и амилаз, которые препятствуют преждевременному гидролитическому разрушению углеводистых оболочек алейроновых зерен и содержащихся в

них белков до начала ферментативных процессов прорастания зерна и оживления зародыша.

Устранить влияние двух последних факторов и высвободить белок, сделав его доступным для организма рыб, можно путем экструзии. Одним из доказательств этого, может служить наблюдавшееся нами резкое увеличение после экструзии (с 44 до 73%) переваримости белка и самих отрубей, также содержащих значительное количество остатков олейронового слоя в виде алейроновых зерен (см. табл. 31).

Изложенное дает основание говорить, что без предварительной технологической обработки витал нельзя считать полезным кормовым сырьем.

Ячмень. ***Зерно.*** Среди основных фуражных культур нашей страны ячмень занимает ведущее место. Уровень белка в ячмене колеблется от 8–9 до 18–22%, что обусловлено генотипическими особенностями сортов и экологическими условиями выращивания. В среднем содержание белка в ячмене составляет 11–13% (см. табл. 28). На долю углеводов приходится около 67–75%, из них на крахмал–около 50%, свободные сахара ~2%. Содержание сырой клетчатки в ячмене в среднем 6%, это больше, чем в пшенице, кукурузе, сорго в 2–1,5 раза и во столько же раз меньше, чем в овсе, просе и рисе с пленками.

Особенность углеводистой части ячменя – наличие, помимо клетчатки, значительного количества некрахмалистых полисахаридов (до 12%). Их избыток препятствует нормальному функционированию пищеварительной системы. Ячмень относительно беден жирами (1,7–3,6%) и имеет средний уровень минеральных элементов (от 1,7 до 7,8%, в среднем 2,7–3,5%).

Содержание кальция в ячмене колеблется в пределах 0,04–0,43%, фосфора – 0,09–0,6%. Из микроэлементов он относительно богат железом и йодом. Имеет высокий уровень витамина Е, содержание которого в 2–3 раза выше, чем в других злаках; очень богат холином и никотинамидом. С точки зрения потребностей рыб в минеральных элементах, в ячмене недостаточное содержание и фосфора, и железа.

Питательные вещества дробленого ячменя хорошо перевариваются у карпа (см. табл. 31). Переваримость сырого протеина достигает 80%. Легкогидролизуемые углеводы необработанного ячменя, и в том числе крахмал, перевариваются у карпа лучше, чем из пшеницы (74 против 58%). В то же время жесткая оболочка зерен практически не расщепляется (коэффициент переваримости клетчатки–0,6%). В целом из общего количества карп получает 60% и более углеводов, а энергии – более 60%. Среди незаменимых аминокислот первой лимитирующей является лизин, второй – метионин (табл. 34). Белок ячменя способен удовлетворить потребность рыб в лизине на 46%, в метионине – на 53%. В специальных опытах с карпами было показано (см. табл. 31), что сухое прессование дробленых зерен ячменя приводит к увеличению его переваримости в основном за счет повышения доступности клетчатки, некрахмалистых углеводов и минералов. Одновременно обнаружено незначительное сокращение доступности большинства незаменимых аминокислот. Описанные эффекты несколько усиливаются при экструзии; наибольшим положительным изменениям подвергается углеводистая часть корма.

Согласно данным Н.А. Абросимовой [1997], для молоди осетровых порядок лимитирования доступных незаменимых аминокислот дробленого и гранулированного ячменя иной, чем у карпа (валин > лейцин > лизин), и его порог несколько ниже (53–54–61%).

В дробленом виде ячмень является одним из предпочтительных компонентов в рационах карпа и может сочетаться в разнообразных комбинациях со многими кормовыми средствами. Наилучшие результаты дает применение лущеного зерна, так как наличие в комбикорме жестких оболочек может сильно травмировать кишечник, что приводит к его заболеваниям и торможению роста рыб. Кроме того, наличие пленок является хорошей средой для развития различных видов плесневых грибов, микроорганизмов.

Таблица 34. Содержание (% от белка), доступность (% поступивших с кормом) рыбам и скоры (% от потребности) доступных незаменимых аминокислот зерна некоторых злаковых

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
					Карп (1)						
Ячмень (Г)											
Содержание	3,4	3,0	5,9	5,0	1,3	3,8	4,4	3,3	5,7	3,1	12,8
Доступность	90	90	93	80	90	90	85	91	91	76	
Скор	46	113	95	102	53	74	81	81	84	74	
					Бестер (3)						
Скор	61	155	119	137	74	53	73	70	54	–	11,6
					Карп (4)						
Ячмень (Г/Э)											
Содержание	3,4/3,5	3,1/3,0	5,9/5,6	3,9/3,9	1,8/2,0	5,1/5,1	5,3/4,8	3,7/3,8	7,1/7,2	2,9/3,3	12,8/12,5
Доступность	90/86	80/72	86/82	83/74	83/80	86/79	86/78	86/79	88/81	76/65	
Скор	47/46	103/90	87/80	83/74	68/73	96/87	100/83	86/81	102/94	69/67	
					Карп (1)						
Рожь (Г)											
Содержание	3,4	3,1	5,1	6,1	1,4	6,1	5,2	3,9	5,7	3,0	13,0
Доступность	88	89	88	70	76	76	86	85	85	72	
Скор	45	115	77	110	48	101	97	90	78	68	
					Карп (5)						
Ржаные отруби, (Г)											
Содержание	6,1	4,8	11,5	7,9	2,2	4,5	3,7	1,5	5,3	2,2	20,7
Доступность	56	83	77	73	88	62	81	55	66	73	
Скор	52	166	153	148	88	61	65	22	56	50	
					Карп (1)						
Овес (Г)											
Содержание	4,1	2,8	9,3	4,1	1,1	2,3	4,3	2,2	3,5	2,2	11,5
Доступность	87	86	93	62	74	74	67	88	88	58	
Скор	54	100	149	65	48	37	63	52	50	40	
					Карп (4)						
Кукуруза (Г)											
Содержание	1,4	2,4	3,5	3,5	1,0	4,7	5,5	3,2	14,9	4,5	9,8
Доступность	85	88	88	82	79	84	87	83	88	86	
Скор	18	88	53	74	36	86	104	72	211	121	

Окончание табл. 34

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
					Карп (5)						
Кукуруза (Г/Э)											
Содержание	2,4/2,5	2,4/2,5	4,7/4,2	3,5/3,8	1,0/1,0	4,7/4,9	5,5/5,6	3,2/3,2	13,9/12,8	4,5/4,4	12,4/14
Доступность	82/84	67/75	78/80	68/77	80/84	74/80	70/77	73/78	79/84	58/69	
Скор	32/30	67/78	63/58	61/75	36/38	75/85	84/94	63/68	178/173	82/95	
					Карп (6)						
Сорго (Г)											
Содержание	1,7	2,6	4,3	3,5	0,4	5,4	7,3	4,0	11,9	3,8	11,7
Доступность	59	62	70	59	68	62	71	63	63	63	
Скор	15	67	52	53	12	73	113	68	121	75	
					Форель (2)						
Сорго, сорт "Жемчуг"											
Содержание	2,7	2,2	4,5	3,8	1,5	5,6	4,8	4,3	10,9	3,9	11,2
Доступность	79	83	68	70	71	80	80	79	82	80	
Скор	35	114	52	76	37	144	128	142	98	80	
					Осетровые (3)						
Скор	44	65	99	66	64	109	66	101	98	–	11,6
					Карп (7)						
Рис (Г)											
Содержание	1,2	2,2	7,8	3,6	0,7	6,8	5,7	4,6	8,9	5,2	8,0
Доступность	70	70	80	61	65	64	74	62	63	65	
Скор	22	64	108	56	21	95	92	77	90	106	
					Карп (7)						
Просо (Г)											
Содержание	1,1	1,9	3,5	3,5	0,3	5,2	5,3	4,1	12,4	3,7	13,7
Доступность	71	80	86	76	68	77	75	78	79	80	
Скор	12	63	52	68	9	87	86	86	158	93	

Примечания: 1. При недостатке заменимого тирозина утилизируется незаменимый фенилаланин; Г – гранулированные, Э – экструдированные.
2. Источники: 1 – Щербина, 1973; 2 – Сергеева, 1989; 3 – Абросимова, 1997; 4 – Щербина, Салькова, Гамыгин, 1999; 5 – Салькова, 1984; 6 – Щербина, Салькова (публикуется впервые); 7 – Салькова, 1985.

При питании карпов нелущенным зерном ячменя отмечалась низкая скорость его поедания. Так, по данным Н.Рекубратского и Л.Буховец [1990], по сравнению с гранулированным комбикормом скорость потребления зерна карпом массой 100 г при температуре 25°С составляет 1 г/ч вместо 2 г/ч. Это связано с необходимостью длительного перетирания зерен глоточными зубами, отплевывания шелухи и нового заглатывания. Очистка зерна идет тем тщательнее, чем меньше доза заданного ячменя. Голодная рыба может глотать сухое неочищенное зерно, но оно длительное время не переваривается. Предварительно замоченное (в течение 6–12 ч) и набухшее зерно карп легче очищает и быстрее поедает.

По данным тех же авторов, по сравнению с дробленым ячменем удобоваримость цельного зерна значительно хуже. Она снижается с 58 до 36%, белка – с 80 до 50%, энергии – с 52 до 42%. Следует отметить, чем меньшее количество зерна съедает карп, тем лучше оно переваривается и усваивается.

Без примеси естественной пищи ячмень даже в максимально съедаемой дозе (около 3,5% от массы рыб) способен обеспечить только очень слабый и весьма кратковременный рост карпа. Далее, несмотря на его потребление, из-за недостатка белка и других элементов рост прекращается, и рыба начинает терять массу.

В присутствии естественной пищи, особенно животной, общая активность питания резко возрастает при одновременном увеличении (в 1,5–4 раза) потребления зерна. Причем, чем выше масса карпа, тем большее количество ячменя (% массы тела) он съедает. Максимальная активность потребления зерна двухлетками карпа (4–5%) наблюдается в прудах, начиная с середины августа. При смешанном применении ячменя и комбикорма поедаемость зерна рыбами сокращается, а продуктивность прикормки возрастает. Технология скармливания зерна ячменя в прудовых хозяйствах подробно описана в наших рекомендациях [Щербина и др., 1992].

Ячмень может вводиться в комбикорма для сеголеток карпа до 50%, для двухлеток – до 65%. Оптимальные дозы и предельное содержание ячменя в комбикормах для различных видов рыб приведены в табл. 6 Приложения.

Рожь. ***Зерно.*** Фуражная рожь, как правило, содержит в основном некондиционное зерно, не пригодное для продовольственных целей по тем или иным причинам. Пределы колебаний содержания протеина во ржи 8–17%. По сравнению с пшеницей в белках ржи значительно больше лизина, треонина, валина, фенилаланина (см. табл. 34). Как все злаковые, рожь бедна жиром (0,9–2,8%). Количество углеводов, в том числе крахмала и свободных сахаров, сопоставимо с их содержанием в пшенице (около 50–60 и 1,5% соответственно). Содержание сырой клетчатки в лущеной ржи – 1,2–3,8%, в нелущеной – выше. На долю зольных элементов приходится 1,3–2,5%. Содержание фосфора в среднем составляет 0,5%. По общей обеспеченности витаминами рожь сходна с другими злаковыми, но по сравнению с ячменем в ней в 3 раза меньше витамина Е, в 2 раза холина (B_4) и почти в 5 раз никотиновой кислоты (B_5).

При питании карпа одной рожью переваримость общей суммы ее питательных веществ и энергии составляет в среднем 55 и 60% соответственно [Трофимова, Щербина, 1982]. Легкогидролизуемые углеводы усваиваются значительно лучше, чем у дробленых пшеницы и ячменя (коэффициент переваримости 84%), целлюлозо-лигнинный комплекс – значительно хуже. В результате, переваримость суммы углеводов составляет лишь 60%. Белковая часть корма доступна плохо. Сырой протеин переваривается в среднем на 59% (против 80% и более у пшеницы и ячменя). В результате этого из 1 кг корма карп получает 550 г переваренных веществ и из них лишь около 80 г протеина (см. табл. 31).

Лимитирующие аминокислоты – лизин (скор-45%) и метионин (скор-48%), (см. табл. 34) [Щербина, 1973].

Доступность малого количества минеральных элементов низка. При питании одной рожью у рыб наблюдается выведение из организма кальция, что приводит к нарушению минерального обмена и скелетным патологиям.

При выращивании карпа в прудах кормление двухлеток одной рожью тормозит рост рыб и вызывает неблагоприятные изменения в их организме, выража-

ющиеся в нарушении белкового и минерального обмена. Это обусловлено рядом факторов. К их числу можно отнести повреждающее действие на кишечник жестких оболочек семян. Содержание в зерне в больших количествах (2,5–3,0%) сильно набухающих слизей вызывает у рыб, также как и у птиц, нарушение пищеварения и снижение поедаемости зерна. Низкая переваримость белка связана с наличием *ингибитора трипсина*, который проявляет наибольшую, чем у других злаковых, активность [Чернышов, Панин, 2000].

При плотности посадки двухлеток карпа в пруды в пределах 2,5–3,5 тыс. экз/га и кормлении только рожью их рост резко замедляется. Зерно очень плохо потребляется рыбами, но при хорошем контроле за поедаемостью его затраты на прирост массы могут составить около 2,5–3,5 единиц при низкой рыбопродуктивности.

Пределы включения ржи и ее сочетаний с другими компонентами приведены в табл. 6 Приложения.

Ржаные отруби. Содержания основных питательных веществ в ржаных отрубях находится в следующих пределах (%): сырой протеин – 15–22, жир – 1,5–4,6, легкогидролизуемые углеводы – 53–70, клетчатка – 8–10, зола – 3–4,5, фосфор – ~0,6. Переваримость белков достаточно низкая – 54%, что также обусловлено присутствием *ингибитора трипсина* (см. табл. 31). По данным И.А. Сальковой [1984], первая лимитирующая аминокислота – изолейцин (см. табл. 34). Скор его доступной части – 22%. Далее практически в равной степени являются лимитирующими лизин (скор 52%) и лейцин (56%). Избыточны гистидин (скор 166%), аргинин (153%), треонин (148%). Углеводы в сумме перевариваются на 46%, жиры – на 39%, сухое вещество – на 43%.Фосфор доступен на 29%. Переваримости зольных элементов определить не удалось из-за значительной экскреции из организма эндогенных минералов. В расчете на 21 мг поступивших с 1 г корма зольных элементов она составляет 33 мг/г (т.е. 58%). Таким образом, если принять, что минералы корма оказались полностью недоступными для рыб, то, помимо их, из организма выделилось еще 12 мг/г элементов некормового происхождения.

По сравнению с питательными веществами цельного зерна ржи белки, сухое вещество, углеводы и минеральные элементы отрубей перевариваются хуже, особенно плохо – углеводы (в сумме 43 против 55%).

Отмечены неблагоприятные изменения в обмене веществ у рыб, питавшихся ржаными отрубями в монодиете [Трофимова, Щербина, 1982]. Предположительно, они обусловлены наличием в оболочках зерна ржи антипитательных веществ – *алкилрезорцинов*, которые обладают токсическими свойствами и при воздействии температуры в процессе изготовления гранул разрушаются лишь частично [Чернышов, Панин, 2000].

Использовать ржаные отруби в кормлении рыб нецелесообразно. В случае острой необходимости их следует применять с эквивалентными количествами животного сырья, что обойдется дорого, поэтому нерационально.

Овес. Различия в питательности отдельных партий фуражного овса могут быть большими. Содержание белка в овсе колеблется от 7 до 13%. Зерно покрыто легко отделяющимися цветочными пленками. В щуплом мелком овсе на их долю приходится до 40–50% массы зерна, в хорошем – около 30%. Поэтому от других злаковых овес отличается высоким содержанием клетчатки (до 18–19%, в среднем около 11%), а также других (до 7–10%), плохо переваримых некрахмалистых полисахаридов (β-глюканов – пентазанов, гемицеллюлоз, пектиновых веществ). В сумме содержание трудногидролизуемых углеводов остистых оболочек достигает 28%. На долю крахмала приходится около 38%. Количество жира колеблется в пределах 2,4–5,4%. Нелущенный овес несколько богаче других злаковых минеральными элементами. Содержание золы находится в диапазоне 1,9–3,8%, кальция – в 1,5–2,0 раза больше, чем в некоторых других злаках, – до 280 мг/100 г. В овсе относительно много марганца (см. табл. 29).

Белки овса перевариваются несколько хуже, чем ячменя, пшеницы и кукурузы (67%). Они дефицитны по ряду незаменимых аминокислот (см. табл. 34). Так по-

требность карпа в валине удовлетворяется на 37%, метионине – на 48%, лейцине и лизине – на 50–54%. При этом выявлен значительный (в 1,5 раза) избыток аргинина и всех заменимых аминокислот (в 1,6–6,0 раз).

Переваримость углеводистой части различна. Вещества, входящие в состав оболочек семян (трудногидролизуемые углеводы, в частности клетчатка), перевариваются в среднем на 24%, легкогидролизуемые, основную массу которых составляет крахмал, – на 75%. Доступность минеральных элементов невелика: фосфора – 26%, магния – 34%; кальций экскретируется из организма, причем не только содержащийся в корме, но и эндогенный, по-видимому, поступивший осмотическим путем через жабры [Щербина, 1973].

Применение овса как основного источника пищи из-за особенностей его химического состава, в частности углеводов, вызывает в организме карпа глубокие физиологические изменения, приводящие к нарушению нормальных функций пищеварительной системы, а также минерального, белкового и жирового обмена. В результате этого рыбы теряют аппетит и плохо растут.

Цельные зерна овса карп поедает неохотно; они вызывают расстройство деятельности кишечника, разжижение и ослизнение содержимого. По-видимому, это связано с присутствием в корме больших количеств жестких и острых оболочек семян, травмирующих кишечник, а также с избытком некрахмалистых полисахаридов, вызывающих гидратацию химуса и нарушение процессов ферментативного расщепления и всасывания питательных веществ.

Затраты овса на единицу прироста массы карпа при дефиците естественной пищи в прудах – более 5,5 единиц. Добавление неочищенного дробленого овса в кормосмеси препятствует сцеплению частиц комбикорма при гранулировании, что в итоге увеличивает механические потери корма в воде от размывания и экстракции.

Кукуруза. ***Зерно.*** Кукуруза (маис) – один из наиболее употребляемых компонентов комбикормов для сельскохозяйственных животных и рыб. По химическому составу она выделяется среди хлебных злаков низким содержанием белка и высоким – углеводов (см. табл. 29). Среди ее углеводов преобладает крахмал (около 56–70% их суммы), количество сахаров невелико – 2–4,5%; клетчатка составляет в среднем около 2,5%. Положительное качество углеводов кукурузы – более низкое, чем у других злаковых содержание антипитательных некрахмалистых полисахаридов – β-глюканов (0,1–0,2%). Содержание жира составляет в среднем около 5%. Он представлен в основном такими ценными ненасыщенными жирными кислотами, как линолевая (54–67% общей суммы жирных кислот) и олеиновая (23–31%, см. табл. 32 и табл. 8 Приложения). Однако это положительное свойство кукурузных липидов может превращаться при хранении в отрицательное: жирные кислоты быстро окисляются, и жир прогоркает.

Химический состав фуражной кукурузы подвержен значительным изменениям. Уровень сырого протеина в расчете на сухое вещество может колебаться в пределах 8–12%, жира – 3,5–9,0%, легкогидролизуемых углеводов – 68–89%, клетчатки – 2,1–6,5%. Кроме того, кукуруза бедна макро- и микроэлементами. По сравнению с другими злаковыми в ней достаточно много фосфора, но очень мало кальция, марганца, меди и железа. Она относительно богата каротином и α-токоферолом. Содержание витаминов группы "В" и, в частности холина и фолиевой кислоты, пониженное (см. табл. 29).

Для сельскохозяйственных животных кукуруза является ценным энергетическим кормовым средством благодаря высокому содержанию углеводов, которые при соответствующей обработке зерна хорошо перевариваются у жвачных животных, свиней и птицы. При кормлении рыб, в частности карпов, согласно нашим данным (см. табл. 31), мелко размолотая и гранулированная кукуруза имеет хорошую переваримость сырого протеина (более 70%). Однако белки кукурузы резко дисбалансированы по составу аминокислот. К основным лимитирующим аминокислотам относятся лизин и метионин [Щербина, Салькова, Гамыгин, 1999]. Потребность в них карпа может удовлетворяться на 18 и 36% соответственно (см. табл. 34). Недостаточна она по содержанию триптофана и аргинина.

Потребность карпа в аргинине удовлетворяется наполовину. К недостаткам относится и лабильность содержания лизина в разных сортах, которая может достигать 100%. В то же время отмечен избыток лейцина и ароматических аминокислот – фенилаланина и тирозина. Заменимые кислоты содержатся в большом избытке (в 1,5–2-кратном).

Жиры необезжиренной кукурузы перевариваются очень хорошо – более чем на 80%. В то же время в случае питания рыб обезжиренным зерном наблюдается поступление в кишечник липидов, мобилизованных из тканей тела рыб (так называемая эндогенная экскреция, см. главу 2). Она сопровождается удалением из организма рыб через кишечник части липидов. В результате происходит обеднение его энергией.

Углеводы фуражной кукурузы в зависимости от ее сорта также могут резко отличаться по своей удобоваримости для рыб (33–76%). То же относится и к минеральной части [Щербина, Трофимова, Салькова, 1987].

Длительное (около 30 сут) кормление карпа дробленой кукурузой приводит к резкому снижению интенсивности роста при одновременном обезвоживании организма, накоплению липидов и углеводов, потерям белка и фосфора при пониженном отложении зольных элементов. Их количество, поступающее с кормом, не может обеспечить не только нормального роста рыб, но и поддерживающего обмена [Щербина, Трофимова, Салькова, 1987].

В целом кукуруза как кормовое средство для рыб обладает следующими специфическими особенностями: высоким содержанием углеводов, которые легко превращаются в липиды, низким содержанием белка, характеризующегося резким недостатком лизина, метионина, аргинина и триптофана, недостаточным количеством фосфора и других зольных элементов.

Поэтому кормление товарных карпов в течение всего периода выращивания одной кукурузой возможно только при очень низкой плотности посадки и обильном развитии естественной кормовой базы. Как дополнительное средство ее можно применять в сочетании с высокопитательными комбикормами, содержащими много соевого шрота, животного или дрожжевого сырья, например, с комбикормами рецептов ВБС-РЖ, комбикормами для форели.

Во всех случаях питательные свойства кукурузы могут быть сохранены и донесены до рыб только при хорошем ее дроблении. При введении в комбикорма средний диаметр частиц зерна кукурузы после помола не должен превышать 0,6 мм. В противном случае она становится неудобоваримой. В составе комбикорма ее крупные частицы резко снижают прочность гранул и повышают их крошимость. Это приводит к непроизводительным потерям сырья и увеличению затрат комбикорма. Имеются сведения, что зерно кукурузы при выращивании товарного карпа не следует применять во второй половине сезона, так как это ухудшает вкусовые качества рыбной продукции.

Экструзия существенным образом повышает питательную и энергетическую ценность кукурузы для рыб [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996]. В частности у карпа, это выражается в улучшении ее общей переваримости за счет более полного расщепления и всасывания белков, углеводов и заключенной в них энергии, а также фосфора (см. табл. 31). В монодиете из экструдированной кукурузы отмечено ускорение роста рыб на 36% при снижении ее затрат на прирост на 29% по сравнению с гранулированной [Щербина, Гамыгин и др., 1999]. Немаловажное значение имеют происходящие при этом стерилизация и детоксикация ядов, образуемых микроорганизмами, т.к. известно, что кукуруза больше, чем другие злаковые, поражается ядовитыми видами головни и грибами рода Fusarium [Чернышов, Панин, 2000].

Положительные свойства кукурузы (высокое содержание хорошо переваримых и усвояемых углеводов, их энергоемкость) могут с успехом использоваться в кормлении рыб при сочетании ее в комбикормах с высокобелковыми компонентами растительного и животного происхождения. Примером могут служить продукционные комбикорма для товарного карпа КТН-85 и КТН-86 [Салькова и др., 1989]. В них на долю кукурузы приходится 54 и 34%. Коррекция аминокислотно-

го и витаминного состава корма проведена за счет включения соответственно 8–4% рыбной муки, 4-8% паприна, а также 5–10% соевого и 20% подсолнечного шротов.

Усиление физиологического и продукционного эффекта возможно за счет обогащения комбикорма кормовым препаратом провитамина А – β-каротином (из расчета 0,01%). Это позволяет более эффективно использовать переваренные питательные вещества на построение тканей организма. В наших опытах продукция двухлетнего карпа в прудах (при плотности посадки 7 тыс. экз/га) возросла на 30%. Затраты корма на прирост снизились на 13%.

Положительные свойства кукурузы в малых дозах (5–10%) в продукционных комбикормах для рыб проявляются при сочетаниях с большим числом компонентов, но при обязательном условии – наличия не менее 3–6% рыбной муки.

Рекомендуемые нормы введения кукурузы в комбикорма для различных видов рыб приведены в табл. 6 и 7 Приложения.

Глютен. Кукурузный глютен является побочным продуктом переработки кукурузы. Он представляет собой остаток шелушенного зерна кукурузы после извлечения из него масла, большей части крахмала, клейковины, растворимых в воде веществ (альбуминов, глобулинов, глютенинов), отделения зародышей и отрубей. Из 100 кг кукурузы получают 9,5–11,0 кг глютена. Состоит он в основном из нерастворимого белка – зеина. В абсолютно сухом веществе глютена содержание сырого протеина колеблется от 50 до 70%, 20–45% приходится на крахмал, 2–4% на клетчатку, 0,5–2,0% составляют растворимые углеводы, 4–7% – жир, 2–6% – зола и 4–6% – прочие вещества (см. табл. 29). Аминокислотный состав зеина для рыб неполноценен. Он очень резко дефицитен по двум незаменимым аминокислотам – лизину и аргинину (табл. 35).

Таблица 35. Потребность лососевых и карпа в незаменимых аминокислотах, состав белков глютена и скоры валовых аминокислот

Аминокислота	Содержание в глютене, % белка	Потребность, % белка		Скоры аминокислот, % потребности	
		Лососи (1)	Карп (2)	Лососи	Карп
Лизин	1,8	5,0	6,6	36	27
Гистидин	2,1	1,8	2,4	117	88
Аргинин	3,2	5,0	5,8	64	55
Треонин	3,6	2,2	3,9	163	92
Метионин	3,2	3,0	2,2	107	145
Валин	4,2	3,0	4,6	140	91
Фенилаланин	6,1	5,1	4,6	120	133
Изолейцин	3,4	2,2	3,7	154	92
Лейцин	14,4	3,9	6,2	369	232
Триптофан	0,5	0,5	0,8	100	63

Примечание. Источники: 1 – Kaushik, 1990; 2 – Щербина, Салькова, 1987.

По валовому содержанию он может удовлетворить потребность карпа в лизине только на 1/4, лососевых – на 1/3. С этим во многом связаны специфические особенности его питательных свойств. Кроме того, в белках кукурузы обнаружена аминоадипиновая кислота, которая относится к веществам, по структуре напоминающим лизин, но по своему действию являющимся его антагонистом. Попадая в животный организм, эта кислота вытесняет из реакций обмена лизин [Чернышов, Панин, 2000].

Исследования на безжелудочных карпах с монодиетой из глютена [Щербина, Салькова, Першина, 2001] показали, что из-за принадлежности зеина к нерастворимым веществам переваримость его белков очень мала – 49% против 71–79% у зерновой кукурузы (см.табл. 31). Переваримость углеводов значительно выше. Ре-

зорбция липидов и минеральных элементов, в частности, фосфора, перекрывалась поступлением в кишечник из организма больших количеств эндогенных липидов и минералов, которые затем выводились с экскрементами. В результате после переваривания в организм карпа попадала только половина сухих веществ и энергии глютена.

Согласно концепции коррегирующей деятельности пищеварительного тракта рыб [Щербина, 1980; 1984, Уголев, Кузьмина, 1993], установленный факт эндогенной экскреции в кишечник свидетельствует о недостаточном количестве и дисбалансированности липидной и минеральной частей глютена. Вполне возможно, что это является также одной из причин низкой переваримости его белков. Аналогичные сведения имеются по сельскохозяйственным животным [Справочник по вторичным..., 1984].

Низкая переваримость глютена наблюдалась на фоне неохотного поедания его рыбами. При кормовом коэффициенте около 8 единиц эффективность использования сухого вещества и энергии глютена на прирост массы рыб составляла около 12%, а на прирост сухого вещества в теле рыб и того меньше – 7%. Конверсия белка глютена в белки организма рыб уменьшалась до 4–6%. Низкий прирост массы сопровождался такими патологическими изменениями в обмене веществ, как обезвоживание тканей, торможение синтеза белка и усиление синтеза липидов.

Испытания по полной замене рыбной муки в комбикорме для сеголеток карпа на эквивалентное количество глютена (доза 9%) дали отрицательный результат. При замене на глютен концентратов растительного белка – 10% соевого или 15% подсолнечного шротов – неблагоприятное действие было менее выраженным.

Сделан вывод, что положительные свойства глютена в комбикормах для карпа проявляются в случае, если им замещается не более 15% жмыхов и шротов. При этом необходимо соблюдение обязательного условия – присутствие в комбикорме рыбной муки или других животных компонентов в качестве носителей лизина и эссенциальных липидов.

У рыб, имеющих желудок и кислую реакцию среды, зеин, нерастворимый в среде, близкой к нейтральной или щелочной, переваривается достаточно полно (у форели и канального сома – на 80–96%, см. табл. 31). Благодаря этому глютен может частично (до 15–20%) заменять рыбную муку в комбикормах для канального сома, лососевых и осетровых рыб. В комбикормах с высоким уровнем рыбной муки и витазара, богатых лизином и биологически активными веществами, возможна замена их на глютен до 30–35% [Гамыгин, Передня, 2001]. По сведениям Н. Абросимовой и В. Говоруновой [2004], в кормлении осетровых (сеголеток бестера) возможна частичная замена на глютен до 15% рыбной муки, соевого шрота и подсолнечного жмыха.

Рис. ***Зерно.*** Рис относится к группе малобелковых злаковых с низким содержанием протеина (7–9%) и очень малым – жира (0,5–2,6%). Нелущенный рис содержит около 8% клетчатки, очищенное зерно – около 2%. Общее количество углеводов колеблется в пределах 63–89%, из них на долю крахмала приходится около 60%, свободных сахаров – около 2,5–3,0% (см. табл. 29).

В очищенном рисе мало минеральных веществ (1,0–1,5% золы); в целом зерне их значительно больше (в среднем 5,4%). Как и у большинства злаковых, в рисе мало кальция, магния и фосфора. Из микроэлементов рис богат марганцем. По обеспеченности витаминами рис близок к другим злаковым, но в отличие от них содержит в 5–10 раз меньше витамина B_1, в 1,5–4,0 раза – B_2, в 5–11 раз – B_6. Он беден никотиновой кислотой (B_5), в нем практически нет каротина.

В отличие от зерна других злаковых, согласно нашим данным [Щербина, Салькова, Трофимова, 1986], наиболее доступными для рыб оказались не белки, а углеводы. Переваримость суммы крахмала, сахаров и клетчатки относительно стабильна и колеблется около 65%. Переваримость всех питательных веществ, входящих в состав корма (сухого вещества), составляет в среднем 61%, сырого протеина – 47%. Переваримость энергии – около 63%. Хорошо доступным для рыб оказался фосфор (60%). Подобного нельзя сказать об общей сумме зольных элементов (см. табл. 31). Через пищеварительный тракт выделяются эндогенные ми-

нералы, что свидетельствует о дисбалансе и неполноценности этой части корма для карпа. Белки риса резко дефицитны по лизину и метионину (скоры доступных аминокислот – 22–21%, см. табл. 34).

При питании рисом в качестве единственного источника пищи он вызывает у карпа неблагоприятные сдвиги в водно-солевом обмене, выражающиеся в резком снижении содержания в теле рыб протеина, патологическом накоплении липидов, обезвоживании и выведении из организма фосфора и других минеральных элементов. Происходят снижение темпа роста рыб при очень высоких затратах кормов или даже потеря массы при хорошем потреблении риса. Это дает основание говорить, что исхудание рыб и потери протеина связаны не только с недостаточным потреблением белка, но также и с неподходящим для них соотношением незаменимых аминокислот. Полученных из рисовой монодиеты белков и отдельных аминокислот организму не хватает не только для обеспечения роста, но даже и на поддерживающий обмен. Особенно неблагоприятное воздействие изменения в обмене веществ могут оказать на физиологическое состояние сеголеток, которым предстоит зимовка. Поэтому к включению больших количеств риса в комбикорма для карпов и, особенно для сеголеток, надо подходить с большой осторожностью.

Положительным свойством риса как кормового средства является высокое содержание и хорошая переваримость углеводов и энергии, а также относительный избыток аргинина. Это делает целесообразным его сочетание с высокобелковыми продуктами животного происхождения, относительно бедными аргинином и углеводами: рыбной, крилевой и мясо-костной мукой, а также арахисовым шротом. Благоприятны его сочетания с паприном, эприном, гиприном и другими видами кормовых дрожжей (см. табл. 8 Приложения). Но и в этом случае необходимо дополнительное введение в кормосмеси компонентов, богатых фосфором, макро- и микроэлементами.

Как единственное кормовое средство в кормлении прудового карпа (за исключением случаев очень низкой плотности посадки карпа – до 1,0–1,5 тыс. экз/га двухлеток и обильном развитии естественной кормовой базы) рис и его отходы применять не следует.

Рисовая мучка. При шлифовке и очистке рисовых зерен образуется рисовая мучка, которая в отличие от зернового риса является достаточно доступным и недорогим продуктом. Ее питательность аналогична описанной выше питательности цельного зерна. Однако благодаря ее хорошим связующим свойствам мучку включают в состав гранулированных комбикормов, особенно с высоким содержанием рыбной муки, в количествах 10–15%, что способствует повышению водостойкости и снижению крошимости гранул.

Нормы ввода риса и его отходов комбикорма для рыб приведены в табл. 6 и 7 Приложения.

Сорго. Сорго (джугара, гаолян) по химическому составу близко к кукурузе: содержит около 10–12% протеина, 66–90% углеводов, бедно минеральными элементами и витаминами (см. табл. 29). Превосходит все злаковые по содержанию *танинов* (до 5%). Их присутствие нарушает обмен органических и минеральных веществ, а также тормозит рост сельскохозяйственных животных [Чернышов, Панин, 2000]. Сорго вызывает депрессию роста и у рыб [Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985]. У карпов, форелей, осетровых наблюдается снижение переваримости протеина и углеводов до 60–20%. Это происходит в результате связывания *танинами* белков пищеварительных ферментов – трипсина и α-амилазы, что отражается на переваримости зерна в целом (59–22%).

Белки ряда отечественных сортов сорго отличаются резко пониженным содержанием важнейших незаменимых аминокислот, в частности метионина и лизина, которые к тому же плохо доступны для организма карпа (см. табл. 34). Согласно скорам, они способны удовлетворить потребность карпа в этих аминокислотах только на 12 и 15% соответственно. Скоры аргинина, гистидина, треонина, изолйцина составляют 52–68% соответственно. В избытке белок сорго содержит лейцин и фенилаланин (по скорам превышение потребности карпа

в этих аминокислотах составляет 21 и 13%). Большинство заменимых аминокислот, в частности аланин и глютаминовая, находятся в избытке (скор более 300%). В то же время аминокислотный состав белков сорго, как показано в табл. 34, подвержен значительным колебаниям, что обусловлено генетическими и региональными особенностями его сортов. Одним из селекционных достижений считается сорт сорго "Жемчуг", который импортируется в Россию. Он отличается от испытанных на карпе отечественных сортов повышенным содержанием метионина (в 3,8 раза) и лизина (на 60%), а также пониженным в 1,5 раза – фенилаланина. Испытания этого сорта были проведены Н.Т. Сергеевой в 1982 г. на форели [Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985]. Было отмечено, что доступность его лизина для форели была в 1,5 раза выше, чем обычного сорта у карпа, а скор лизина – большим в два раза.

Для молоди осетровых скор лизина составил 44%.

Сравнение доступности и скоров аминокислот сорго с этими показателями для других злаковых (см. табл. 30 и 34, табл. 9 Приложения) дает основание говорить, что пищеварительная система как желудочных, так и безжелудочных рыб труднее справляется с переработкой белков сорго, чем других видов зерна. Об этом свидетельствуют и более низкие показатели переваримости сырого протеина – 62–65% (см. табл. 31). В совокупности эти данные являются косвенным подтверждением отрицательного действия танинов на активность протеолитических ферментов.

Липидная оснащенность сорго от 0,5 до 4%. По данным Н.Т. Сергеевой [1989], в составе зерна сорго сорта "Жемчуг" на фракцию триглицеридов приходится около 40%, а на фракцию наиболее ценных фосфолипидов – лишь около 6%. Среди жирных кислот преобладают линолевая (44% от общей суммы), олеиновая (29%) и пальмитиновая (13%). На долю самой ценной кислоты – линоленовой, приходится достаточно много – 7%. В то же время не обнаружены такие важные для рыб жирные кислоты как арахидоновая, эйкоза- и докозагексаеновые (см. табл. 32, табл. 8 Приложения). Переваримость общих липидов у всех подопытных рыб была достаточно высокой – 81–87% (см. табл. 31).

Углеводистая часть сорго оказалась слабо доступной для форели (всего 19%), для осетровых – несколько лучше – 46%, для карпа – 61%. Имеются данные, что гранулирование, экструдирование, экспандирование и другие методы обработки в большей степени улучшают условия переваривания питательных веществ сорго, чем других видов зерна.

По результатам экспериментов ВНИИПРХ 70-х годов, питание карпа только одним зерном сорго вызывает нарушения в обмене веществ. Они выражаются в обезвоживании организма, увеличении по сравнению с нормой в 2 раза концентрации жиров в приросте массы. Как следствие, происходят торможение роста и потеря массы. Поэтому после анализа результатов рыбоводно-физиологических экспериментов были сделаны выводы, что в комбикормах для рыб сорго можно использовать только в качестве углеводистого компонента и в количествах от 5 до 15%. Позднее аналогичные результаты были получены в исследованиях КрасНИИРХ [Гамыгин и др., 2001, Скляров, 2004].

Наиболее целесообразно вводить сорго в комбикорма, содержащие рыбную муку, продукты микробиосинтеза, или в качестве добавки к ним. В условиях прудовых хозяйств в качестве единственного источника подкормки его можно применять только в случае хорошего развития естественной кормовой базы во второй половине сезона, если выращивание товарных рыб идет при разреженной плотности посадки.

По сведениям ВНИИКП [Чернышов, Панин, 2000] отдельные партии импортного сорго могут иметь в своем составе синильную кислоту, которая образуется в результате превращений содержащегося в зерне *цианогликозида дуррина*. По их рекомендациям подобное зерно не следует включать в комбикорма в количестве более 10%.

У форели белки сорго также плохо переваримы, как и у карпа (см. табл. 31). Из общей суммы питательных веществ усваивается только 22%, что связано с

низкой доступностью для рыб углеводов (19%), на долю которых приходится основная часть корма [Сергеева, цит. по Щербине и др., 1985]. Большие количества сорго вызывают исхудание форели, обводнение ее тканей, потери белка и углеводов при одновременном накоплении жира. На этом основании не рекомендуется включать сорго в комбикорма для форели в количествах более 7–10%. Для других видов рыб возможно его использование в больших количествах (табл. 7 Приложения).

Просо. Зерно проса также является высокоуглеводным сырьем. В расчете на абсолютно сухое вещество оно содержит около 80% углеводов, в том числе 9–12% клетчатки, 10–14% белка, 1,5–3,5% минеральных веществ (см. табл. 29). Зерно проса имеет жесткую оболочку. В ее состав входит много инкрустирующих веществ, которые почти не перевариваются животными. В обрушенном и размолотом виде основные питательные вещества проса за исключением минеральных элементов относительно хорошо доступны для карпа – протеин на 76%, жир на 83%, углеводы на 52% (см. табл. 31). Из минеральных элементов хорошо усваивается фосфор (64%). Отмечена экскреция эндогенных минералов, которая по величине составляет почти половину общего количества зольных элементов, содержащихся в зерне, что свидетельствует о дисбалансированности для рыб этой части корма.

Доступность входящих в состав проса аминокислот составляет в среднем около 80%. В то же время дефицитные для рыб незаменимые аминокислоты – метионин и лизин, усваиваются очень плохо (скоры 9 и 12% соответственно). С этих позиций, белки проса могут удовлетворять приблизительно 1/10 часть потребности рыб в метионине и лизине при многократном избытке таких незаменимых аминокислот, как лейцин, валин, треонин, а также всех заменимых [Салькова, 1985].

Как углеводистое сырье просо вызывает в организме рыб повышенное образование жира и торможение синтеза белка. Однако при сравнении с другими видами описанных малобелковых злаков его питательность для карпа несколько выше. По всей вероятности, это связано с присутствием в жирах проса *милиацина* (пентациклического тритерпеноида) – вещества, которое обладает способностью стимулировать рост животных [Чернышов, Панин, 2000].

В качестве компонента комбикормов просо и его отходы могут использоваться как углеводистое сырье в сочетании с животными продуктами, но в значительно меньших количествах, чем пшеница и ячмень (см. табл. 6 Приложения).

3.1.2. Зерно бобовых культур

Семена бобовых характеризуются высоким уровнем сырого протеина (20–38%) и крахмала – около 50% (табл. 36). На минеральные элементы приходится 2–5% сухого вещества. Общее содержание липидов варьирует в широких пределах (2–18%). Жирнокислотный состав отличается преобладанием физиологически важных для рыб кислот (% общей суммы): линолевой – 40–60, олеиновой – 15–30 и линоленовой – 5–15 (см. табл. 9 Приложения).

Достоинство белковой части – в 1,5–3 раза больший, чем в зерне злаков, уровень лизина. Это делает бобовые желательными компонентами в комбикормах для сельскохозяйственных животных и рыб. Общий недостаток – низкий уровень метионина и других серусодержащих аминокислот (цистина, цистеина, таурина). Общую питательность белка бобовых снижает присутствие значительных количеств *ингибиторов трипсина*, уменьшающих переваримость белков, а также ряда *аминов*, которые, присоединяя углеводы, образуют *ядовитые алкалоиды*. Эти вещества в той или иной степени обезвреживаются при термической обработке.

Горох. Обычно содержит 21–26% сырого протеина (в расчете на абсолютно сухое вещество), около 70% углеводов, 2/3 из которых приходится на крахмал, немногим более 6% клетчатки и 1,9–3,5% зольных элементов (см. табл. 36). В липидах (общее содержание 2–3%) преобладает незаменимая для рыб (особенно для тепловодных) линолевая кислота (до 63%). Олеиновой кислоты содержит-

ся в 2–3 раза меньше, а линоленовой – особенно важной в питании холодноводных рыб, – только 6–13% (см. табл. 9 Приложения). Согласно нашим данным (см. табл. 38), степень доступности питательных веществ гороха для рыб находится в определенной связи с технологией его подготовки перед скармливанием, что обусловлено той или иной степенью разрушения *ингибиторов трипсина* и *алкалоидов*. Максимальные значения коэффициентов переваримости сырого протеина у карпов (78%) отмечены для дробленого гороха, подвергнутого влажному прессованию (табл. 37). Сухое прессование дает значительно меньший эффект – 60%, более жесткая обработка при экструдировании – только 70% [Щербина, Мочульская, Эрман, 1970].

Таблица 36. Примерное содержание основных питательных веществ в зернах бобовых, % абсолютно сухого вещества

Показатели	Горох	Люпин	Соя
Валовая энергия, МДж/100 г	1,63	1,88	2,10
Сырой протеин, %	25,6	33,0	37,5
Сырой жир, %	2,2	2–3,5	17,2
Углеводы, %	70,3	61,0	40,1
В том числе:			
клетчатка	6,4	14,0	8,2
крахмал	53,5	–	–
свободные сахара	6,5	–	4,7
Сырая зола, %,	2,5	2,5–3,5	5,2
В том числе, мг/100 г:			
кальций	235	260	565
фосфор	680	860	835
магний	280	200	341
калий	1252		2553
натрий	35		40
железо	7,1		14,7
цинк	3,1		3,9
марганец	2,4		3,2
медь	0,9		1,7
йод	0,015		0,02
кобальт	0,007		0,01
Витамины, мг/100 г:			
Каротин	0,02		0,02
Е – α-токоферол	6,2		4,2
B_1 – тиамин	0,9		0,8
B_2 – рибофлавин	0,30		0,36
B_3 – пантотеновая кислота	1,18		1,86
B_4 – холин	188		294
B_5 – никотиновая кислота	4,0		4,4
B_6 – пиридоксин	0,35		0,47

Примечание. Источники информации: Минеральный состав кормов, 1986; Нормы и рационы..., 1985; Справочные сведения..., 1990; Щербина, 1973.

Для форели [Gomes et al., 1995] наиболее доступными оказались белки вареного гороха (переваримость 80%).

В наших исследованиях [Щербина, 1973; Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996а] были выявлены особенности аминокислотного состава различных партий гороха.

Установлены определенная стабильность содержания лизина, гистидина, аргинина и метионина и существенная вариабельность ароматических аминокислот (фенилаланина и тирозина), а также лейцина и изолейцина.

Таблица 37. Коэффициенты видимой переваримости основных питательных веществ и энергии зерна бобовых у различных видов рыб, % съеденных

Вид сырья, способ обработки	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы	Сырая зола	Фосфор	Энергия	Переваримая энергия, МДж/100 г
Горох:			*Карп* (1)					
влажное прессование	44	78	Э	32	–	41	44	0,9
			Карп (2)					
сухое прессование	39	60	59	23	23	18	58	0,96
			Карп (2)					
экструзия	55	70	67	53	31	3	67	1,03
			Форель (3)					
варка	66	80	–	–	–	–	59	–
			Карп (1)					
Люпин, влажное прессование	48	70	3	38	–	42	44	0,90
			Форель (3)					
	63	86	–	–	–	–	62	–
			Карп (4)					
Соевая мука	–	87	–	–	–	–	–	–
			Форель (4; 5)					
	74	68–96	–	–	–	–	75–85	1,35
			Белый амур (6)					
	82	96	99	63	55	–	83	–
			Форель (5)					
Соевая мука: жирная кулинарная	78	96	94	–	–	–	85	1,90
			Форель (3)					
тостированная и флакированная	75	86	–	–	–	–	80	–
			Форель (3)					
тостированная и микронизированная	86	96	–	–	–	–	91	–
			Форель (5)					
Концентрат соевых белков	77	97	–	–	–	–	84	1,54
			Осетровые (8)					
	–	91	–	–	–	–	–	–
			Форель (7)					
Мука из люцерны	–	61	–	–	–	–	–	0,8–0,9

Примечание: 1. Э – экскреция в пищеварительный тракт эндогенных липидов.
2. Источники информации: 1 – Щербина, 1973; 2 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996а; 3 – Gomes, et al, 1995; 4 – Jauncey, 1995; 5 – Cho, 1993; 6 – Lowe, 1986; 7 – Kaushik, 1990; 8 – Абросимова, 1997.

Определения доступности аминокислот гороха у карпа (табл. 38) показали, что ее значения в среднем существенно выше, чем сырого протеина (84 против 70%). Расчеты скоров указали на резкий лимит метионина (соответствует потребности на 14–37%) и избыточность аргинина (скоры 104–123%).

Экструзия существенным образом не повлияла на доступность аминокислот гороха. В то же время, судя по увеличению показателей переваримости сырого протеина с 60 до 70%, она активизировала усвоение небелкового азота. Максимальный положительный эффект экструзии отмечен для углеводистой части. Ее

Таблица 38. Содержание (% белка), доступность (% поступивших кормов) и скоры (% потребности) доступных незаменимых аминокислот зерна бобовых для карпа и осетровых

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенил аланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
Горох				*Карп* (1)							
Влажное прессование											
Содержание	6,6	3,0	8,0	5,4	1,0	3,2	3,4	3,1	4,7	2,4	26,5
Доступность	90	89	89	82	81	81	82	87	87	74	
Скор	90	111	123	114	37	56	61	73	66	56	
Сухое прессование				*Карп* (2)							
Содержание	6,7	3,1	7,6	4,1	1,0	5,0	5,2	4,3	7,6	4,1	21,4
Доступность	86	67	79	66	31	68	78	72	74	76	
Скор	87	86	104	69	14	74	88	84	91	97	
Экструдирование				*Карп* (1)							
Содержание	6,3	3,7	8,3	4,1	1,0	5,0	4,9	4,1	7,5	3,7	17,3
Доступность	86	72	84	68	32	72	72	73	76	60	
Скор	82	111	120	71	15	78	77	81	92	69	–
Люпин, влажное прессование				*Карп* (1)							
Содержание	4,4	2,5	10,3	5,8	1,2	3,9	3,5	3,5	6,5	2,8	33,1
Доступность	76	79	89	59	70	70	81	84	84	75	
Скор	51	82	158	88	38	59	62	79	88	53	
Концентрат соевых белков				*Осетровые* (3)							
Скор	115	155	170	107	95	136	127	129	116	–	62,4

Примечания: 1. *При недостатке заменимого тирозина утилизируется незаменимый фенилаланин.

2. Источники: 1 – Щербина, 1973; 2 – Щербина и др., 1996; 3 – Абросимова, 1997.

переваримость (в основном крахмала) возросла с 33 до 53%, что повлекло за собой повышение переваримости гороха в целом (с 39 до 55%).

Рекомендуемые нормы ввода гороха в комбикорма для различных видов рыб – до 20%. Наиболее благоприятно сочетание гороха с рапсовыми и подсолнечными жмыхами и шротами, подвергнутыми экструзии, а также с пшеницей, ячменем, рыбной, крилевой и кальмаровой мукой (см. табл. 8 Приложения).

Люпин. Различные сорта люпина имеют в своем составе большее количество сырого протеина, чем горох (28–37%). Он относительно богат лизином, содержание которого в белках колеблется в диапазоне 3,8–6,0%, но дефицитен по метионину, цистину и триптофану (см. табл. 38). Имеет 2,5–3,5% золы, более 60% углеводов, основная масса которых приходится на крахмал, около 1 % лигнина.

В люпине очень высокое содержание сырой клетчатки – 12–16%. Липиды (2,0–3,5%) представлены в основном олеиновой (24–61% общей суммы жирных кислот) и линолевой (16–49%) кислотами.

К достоинствам люпина, помимо высокого содержания белка и дефицитного в растительном сырье лизина, относится *отсутствие ингибиторов трипсина и гемагглютининов,* свойственных сое. Отрицательные качества, помимо высокого уровня клетчатки, – присутствие значительных количеств *ядовитых алкалоидов.* Их содержание в различных сортах люпина широко варьирует: от 2% в семенах горького желтого люпина, который не рекомендуется использовать в кормовых целях, до 0,02% в белом сладком (кормовом) люпине.

По наличию *алкалоидов* [Чернышов, Панин, 2000] люпины делят на кормовые (не более 0,025%), *малоалкалоидные* (0,025–0,1%) и *алкалоидные* горькие некормовые (более 0,1%). Самым токсичным алкалоидом, преобладающим в количественном отношении, является *лупанин.* Он разрушается при термической обработке свыше 70 °С. Предварительная экструзия или экспандирование алкалоидного люпина могут давать продукт, пригодный для включения в рыбные комбикорма. Положительный эффект лупанина – люпин может долго храниться, так как из-за наличия этого алкалоида он слабо поражается микрофлорой и насекомыми-вредителями.

Наши эксперименты на карпах (см. табл. 37, 38) показали, что основные питательные вещества дробленого и подвергнутого влажному прессованию люпина доступны для рыб не хуже, чем гороха [Щербина, Казлаускене, 1971]. Однако анализ показателей доступности незаменимых аминокислот позволил выявить скрытые недостатки. При одинаковой технологической обработке количество лизина, поступающего из пищеварительного тракта, существенно меньше, чем при питании рыб горохом, и он способен удовлетворить лишь половину потребности карпов в этой аминокислоте. Дефицит метионина в люпине меньше, чем в горохе (скор – 38%), но также достаточно высокий. Выявлена недостаточность ряда других аминокислот (тирозина, фенилаланина, валина). Обнаружен резкий избыток аргинина, который предполагает благоприятность сочетаний люпина с кукурузой, сорго, просом. Наименее переваримая часть – углеводы. Вследствие этого общая переваримость люпина приблизительно 50% [Щербина, 1973].

У форели, по данным Е. Гомеса [Gomes et al., 1985], процессы переваривания люпина идут более эффективно. Показатель переваримости сырого протеина достигает 86%, а сухого вещества и энергии – 63%.

Очистка люпина от оболочек способствует снижению содержания в нем клетчатки и алкалоидов в два раза, вследствие чего улучшается использование корма животными.

Обычно нелущенные кормовые люпины вводят в комбикорма для рыб в количестве до 15–20%, заменяя ими соевые шроты или обогащая белком зерновые смеси (например, для карпов и тиляпий).

Не рекомендуется сочетать люпин с соевым и арахисовым шротами, горохом и овсом.

3.1.3. Отходы переработки масличных культур

К побочным продуктам переработки семян масличных культур прежде всего относятся широко употребительные компоненты рыбных комбикормов – жмыхи и шроты. Жмыхи – это отходы при отжиме масла на прессах, шроты – после извлечения масла растворителями. В качестве растворителей обычно применяют гексан или бензин.

По классической технологии грубые оболочки семян, например, подсолнечника, конопли, клещевины и др., должны отшелушиваться, а с семян хлопчатника сниматься короткие волокна и подпушек. На извлечение масла направляют измельченные или обжаренные семена. После прессования и отжима масла оставшиеся твердые отходы представляют собой мезгу или жмых. Из жмыхов остаточный жир может экстрагироваться, и тогда жмых превращается в шрот. Современная технология извлечения масла отдает предпочтение прямому экстракционному способу. Выход и химический состав жмыхов и шротов зависит от способа извлечения масла и технологической схемы, предполагающей или не предполагающей обрушивание оболочек и отделение шелухи.

Шроты содержат значительно меньше жира (0,8–4,0%), чем жмыхи (до 12%). Вся группа характеризуется высоким содержанием протеина (26–50%) и является в кормопроизводстве концентрированным источником растительного белка (табл. 39). В составе их белков преобладают глобулины, в частности их растворимые фракции. Качество жмыхов и шротов как компонентов комбикормов определяется прежде всего пищевой ценностью содержащихся в них белков, в частности, количеством и соотношением аминокислот, а также их доступностью для организма рыб. Шроты отличаются от жмыхов соответствующих культур более высоким уровнем белка. Однако структура белков в технологических условиях экстракции (повышенные температура и влажность) нередко претерпевает изменения, снижающие их питательную ценность для животных и рыб. Это – денатурация белков и образование непереваримых комплексов аминокислот с углеводами и минералами и ряд других реакций.

Благодаря более низкому уровню жира шроты содержат меньше, чем жмыхи, фосфатидов (фосфолипидов) и жирорастворимых витаминов.

На долю углеводов приходится около 40–50% сухого вещества. Преобладает целлюлозо-лигнинный комплекс, трудно гидролизуемый пищеварительными ферментами.

Эта группа бедна каротиноидами, относительно богата водорастворимыми витаминами группы В, а из жирорастворимых – витамином Е.

Существенный недостаток этих важных видов комбикормового сырья – наличие в большинстве из них токсически действующих веществ естественного происхождения, ингибиторов ферментов и витаминов. К ним относятся *гемагглютинины, антивитамин Д, ингибиторы трипсина* и другие антипитательные вещества соевого шрота, *глюкозинолаты и эруковая кислота* рапса и горчицы, *аллиловые производные горчицы, госсипол хлопчатника*, а также *бактерио- и микотоксины*, образовавшиеся при неправильном хранении. Помимо снижения питательной ценности кормов, они могут вызывать отравления и смерть животных. Для разрушения и удаления этих веществ используются различные технологические приемы. К ним относятся такие, как обработка горячим воздухом, сухим жаром (тостирование) или инфракрасными лучами (микронизация), влаго-тепловая обработка при сухом и влажном прессовании (гранулирование), использование горячего пара под давлением и механического трения (варочная экструзия, экспандирование), механическое трение в экструдерах без обработки паром (сухая экструзия), гидролитическое расщепление в определенной области pH в присутствии катализаторов или без них, в некоторых случаях под давлением, а также другие.

Жмыхи гигроскопичны и хорошо впитывают влагу, в присутствии которой происходят окисление жиров с образованием токсичных продуктов, а также обильное развитие микроорганизмов и грибов, выделяющих токсины (например, *афла- и фузариевые токсины* и др. подобные им вещества). В связи с этим пе-

ред включением их в комбикорма полезно проводить органолептический анализ по следующим показателям: цвет, запах, влажность, обсемененность микроорганизмами. Хороший жмых не должен быть темным и иметь затхлый запах и прогорклый вкус.

Таблица 39. Примерное содержание основных питательных веществ в жмыхах (1) и шротах (2) (на абсолютно-сухое вещество)

Показатели	Соевый		Подсолнечный		Хлопчатниковый		Рапсовый		Льняной	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Валовая энергия, МДж/100 г	2,13	2,01	2,12	2,03	2,11	1,97	2,09	1,96	2,14	1,92
Сырой протеин, %	46,0	50,0	45,0	47,7	44,3	45,7	36,4	42,0	37,6	37,8
Сырой жир, %	8,2	3,0	8,6	4,1	8,2	1,4	9,7	2,4	11,3	1,9
Углеводы, %,	40,0	39,9	40,1	41,3	40,8	46,9	47,8	48,7	45,3	53,5
В том числе:										
клетчатка	6,0	6,9	11,3	16,0	13,3	13,8	12,6	13,0	10,6	10,7
крахмал	2,2	2,0	2,8	3,1	1,7	1,7	–	–	–	–
свободные сахара	11,1	10,6	6,9	5,8	8,8	7,2	–	–	3,9	5,3
Сырая зола, %	5,8	7,1	6,3	6,9	6,6	6,0	6,1	6,9	5,8	6,8
В том числе, мг/100 г:										
кальций	480	370	660	460	310	556	530	730	380	400
фосфор	770	760	1430	1500	1040	1120	1400	1200	1110	900
магний	320	400	530	570	600	522	490	560	480	590
калий	1930	2170	1060	1030	1835	1100	1230	1610	1380	1390
натрий	55	180	125	44	110	89	78	22	155	100
железо	24	24	24	37	25	28	60	30	22	24
цинк	4,6	4,6	4,4	4,5	3,0	4,7	5,4	5,6	7,7	5,8
марганец	3,8	4,1	4,2	5,4	2,5	2,0	4,9	6,9	4,2	4,1
медь	1,9	1,9	1,9	2,7	1,6	1,8	0,8	0,7	2,9	1,8
йод	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,03	0,03	0,06	0,10	0,10
кобальт	0,01	0,01	0,02	0,05	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01
Витамины ИЕ, мг/100 г:										
Каротин, мг	0,22	0,02	0,22	0,33	0,11	0,11	–	–	–	0,03
Д, И.Е.	1,06	0,50	0,56	0,56	0,50	0,39	0,33	0,28	0,28	0,44
Е, мг	1,22	0,33	1,22	1,18	1,11	2,22	1,33	–	0,89	0,64
B_1, мг	0,67	0,60	0,70	0,78	1,05	0,50	0,19	0,24	0,80	1,13
B_2, мг	0,35	0,40	0,34	0,33	0,76	0,50	0,40	0,38	0,49	0,53
B_3, мг	1,60	1,60	1,66	1,64	1,39	1,22	1,02	0,92	1,33	1,00
B_4, мг	300	308	255	244	260	280	744	744	190	200
B_5, мг	4,25	4,50	24,4	19,4	4,2	4,4	17,7	17,7	4,4	4,9
B_6, мг	0,78	1,06	1,11	1,72	0,6	0,6	2,0	0,89	1,0	1,8

Примечание. Источники информации: Минеральный состав кормов, 1968; Щербина, 1973; Справочные сведения..., 1990; Аликаев и др., 1982; Нормы и рационы..., 1985.

Подсолнечные жмыхи и шроты. Относятся к наиболее доступным и дешевым источникам концентратов растительных белков в отечественном кормопроизводстве. В качестве комбикормового сырья они поступают либо обычными, либо тостированными, россыпью или в гранулированном виде. Нередко шроты обогащаются липидами – отходами после рафинирования масла (так называемыми соапстоками – омыленными свободными жирными кислотами, содержащими нейтральный жир и нежировые вещества).

Химический состав жмыхов и шротов из обрушенных и необрушенных семян существенно различается в основном за счет наличия или отсутствия лузги, состоящей преимущественно из клетчатки. По сведениям, приведенным в обзоре Н. Чернышова и И. Панина [2000] , если в шротах содержится 23 и 35% клетчатки, то содержание протеина составляет соответственно 39 и 30%.

Уровень сырого протеина в сухом веществе жмыхов и шротов может колебаться от 26 до 50%. Причем количество белкового азота в нем достигает очень высоких значений – в среднем 95%, что в целом должно свидетельствовать о его хороших питательных свойствах. Усредненные данные о содержании основных групп питательных веществ в жмыхах и шротах см. в табл. 39.

Содержание и доступность белков и аминокислот, а также степень их соответствия потребностям рыб характеризуются данными табл. 40.

Согласно нашим данным [Щербина, Казлаускене, 1971; Щербина, 1973], белок подсолнечника дефицитен по лизину, его скор (степень удовлетворения потребности) колеблется в пределах 51–61%. Это означает, что половина его белков расходуется в организме рыб непродуктивно, т.е. не может быть использована для синтеза собственного белка. К достоинствам белков подсолнечных жмыхов и шротов относится хорошая доступность метионина и цистина (скор – 66–88%), чем они выгодно отличаются от других растительных компонентов, за исключением рапсовых жмыхов и шротов.

Количество сырого жира может колебаться в широких пределах:от 5 до 9% в жмыхах и 0,5–4% в шротах, обогащенных соапстоком. Основные жирные кислоты: линолевая (59–73%), олеиновая (15–31%), пальмитиновая (3–8%) и стеариновая (до 5 %). Линоленовой кислоты очень мало – 0,2–1,7% (см. табл. 9 Приложения). Фосфолипидов в составе сырого жира около 35%. Их высокая физиологическая активность связана с наличием больших количеств фосфатидилхолина. На долю углеводов приходится около 40%, причем преобладает трудноферментируемый комплекс клетчатки и лигнина. В шротах из необрушенных семян количество сырой клетчатки может составлять в среднем 18–22%, а иногда достигать 35%. Переваримость общей суммы углеводов от 33 до 48%, у бестера – около 50%; форель усваивает их очень плохо (табл. 41). В минеральной части (6–7% золы) основная доля приходится на фосфор (около 1,5%) и калий (более 0,5%). Фосфор усваивается слабо, но лучше, чем общее количество зольных элементов.

Из *антипитательных* факторов в подсолнечнике может содержаться повышенное количество *хлорогеновой кислоты,* которая угнетает действие основных пищеварительных ферментов и может окислять аминокислоты. Отрицательное действие проявляется, если она содержится в количестве 1% и более. Неблагоприятный эффект хлорогеновой кислоты можно снижать дополнительным введением метионина и холина [Антипитательные факторы..., 1993].

Возможно, что с присутствием хлорогеновой кислоты связана достаточно низкая переваримость у карпов сырого протеина гранулированного шрота – 68–70% (см. табл. 41), суммы углеводов (до 33%) и минералов (до 7%), а также сухого вещества (около 40%).

После экструдирования в питательности подсолнечного шрота происходят разнонаправленные изменения. По нашим данным [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996а], в результате деструкции целлюлозо-лигнинного комплекса переваримость общей суммы углеводов возрастает на 26% (до 40% от съеденных с кормом). В то же время подвергаются разрушению липиды и в, частности, наиболее ценная линолевая кислота. У рыб понижается переваримость ее и других жирных кислот. Изменений в доступности аминокислот не наблюдается. Минеральные

Таблица 40. Усредненные данные о содержании (% белка), доступности для рыб (% поступивших с кормом) и скорах (% потребности) доступных незаменимых аминокислот жмыхов и шротов

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
					Форель (1)						
Соевый шрот											
Содержание	5,9	3,1	6,6	4,1	1,2	5,1	5,2	4,7	7,7	4,0	40,5
Доступность	84	89	95	89	85	90	90	90	90	92	
Скор	81	172	106	104	35	148	156	189	76	94	
					Карп (2; 4)						
Гранулированный											
Содержание	6,1	3,4	8,0	4,8	1,3	4,9	4,8	4,0	7,8	3,7	40,5
Доступность	77	70	85	62	74	69	72	70	77	66	
Скор	67	99	118	76	44	74	75	81	96	78	
					Карп (4)						
Экструдированный											
Содержание	6,7	3,9	7,5	4,4	1,4	4,8	4,7	4,2	7,6	3,7	37,6
Доступность	88	87	91	82	84	82	82	82	84	81	
Скор	89	141	118	93	53	86	84	93	103	94	
					Карп (2)						
Подсолнечный жмых											
Содержание	4,6	3,5	8,7	4,7	1,7	5,2	5,2	4,3	6,4	2,9	38,6
Доступность	76	75	88	73	84	80	84	82	83	84	
Скор	51	107	131	86	66	90	95	95	86	75	
Подсолнечный шрот					*Карп* (2; 4)						
Гранулированный											
Содержание	4,6	3,1	8,0	4,6	2,0	5,0	4,9	4,2	7,2	2,9	28,3
Доступность	88	78	90	84	93	84	86	87	87	84	
Скор	61	101	124	99	85	91	92	99	101	76	
					Карп (2; 4)						
Экструдированный											
Содержание	4,0	3,3	8,6	4,4	2,1	5,0	5,2	4,2	7,2	3,0	27,3
Доступность	88	84	90	85	92	85	89	89	89	84	
Скор	53	116	133	96	88	92	101	101	103	79	

Продолжение табл. 40

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
					Форель (1)						
Гранулированный											
Содержание	3,4	2,5	7,8	4,1	2,3	6,0	5,2	4,6	6,8	2,9	38,6
Доступность	74	78	79	70	80	73	77	78	79	72	
Скор	41	122	104	82	63	41	133	150	59	54	
					Молодь осетровых (3)						
Скор	75	149	198	104	84	133	106	120	94	–	38,6
					Карп (2)						
Хлопчатниковый шрот											
Содержание	2,9	2,3	9,1	4,1	1,2	5,6	5,3	2,5	6,0	2,2	37,8
Доступность	47	75	87	71	78	75	81	77	77	71	
Скор	21	72	137	75	43	91	93	52	75	49	
					Карп (2)						
Арахисовый шрот											
Содержание	4,4	3,6	10,9	4,6	0,8	2,1	4,5	0,6	5,0	3,1	40,5
Доступность	81	88	94	86	84	84	93	93	93	90	
Скор	54	132	177	101	31	52	91	15	75	87	
					Карп (2)						
Льняной шрот											
Содержание	3,3	1,6	9,3	4,0	2,3	5,7	5,5	4,2	6,6	2,5	29,6
Доступность	88	83	93	82	98	86	89	86	88	83	
Скор	44	55	149	84	102	108	106	98	94	65	
					Карп (2)						
Конопляный жмых											
Содержание	4,1	3,3	16,7	4,4	1,9	5,7	4,9	3,5	7,0	8,2	31,5
Доступность	76	77	90	74	88	88	87	86	86	94	
Скор	47	106	259	83	76	109	93	81	97	241	

Окончание табл. 40

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
					Карп (2)						
Горчичный жмых											
Содержание	4,6	3,5	9,1	5,6	1,4	6,4	4,8	2,5	5,0	3,9	38,4
Доступность	58	82	84	73	82	82	82	79	79	78	
Скор	40	120	132	105	52	114	86	53	64	96	
					Карп (2)						
Клещевинный жмых											
Содержание	2,4	2,4	9,3	4,0	0,5	4,9	2,0	2,6	4,7	3,1	42,0
Доступность	68	90	96	84	89	89	82	90	90	85	
Скор	25	90	154	86	20	95	36	63	68	82	
Рапсовый шрот					*Карп* (4)						
Гранулированный											
Содержание	5,3	3,5	6,7	5,0	2,5	5,2	4,6	4,1	7,8	3,0	30,0
Доступность	83	82	87	81	89	81	83	82	85	82	
Скор	67	121	100	103	101	91	83	92	106	78	
Экструдированный											
Содержание	5,6	3,7	7,0	4,9	2,5	5,3	4,6	4,3	8,1	2,8	30,1
Доступность	90	87	92	86	92	87	88	88	90	87	
Скор	76	134	111	108	104	100	88	102	118	76	

Примечания: 1. *При недостатке тирозина утилизируется фенилаланин.

2. Источники: 1 – Сергеева, 1989; 2 – Щербина, 1973; 3 – Абросимова, 1997; 4 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996а.

Таблица 41. Коэффициенты видимой переваримости основных групп питательных веществ и энергии жмыхов и шротов у различных видов рыб, % съеденных

Вид сырья, вид рыб	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы				Минеральные вещества		Энергия	
				Легко гидролизуемые	Лигнин	Клетчатка	Общая сумма	Сырая зола	Фосфор	%	МДж/ 100 г
Соевый шрот											
Карп (1; 2)	44; 51/66	71; 77/84	11; 79/83	51; 55/73	34; 51	39; Н40/Н7	45; 38/59	8/37	38; 55/48	54; 57/69	1,0; 1,1/1,29
Форель (3)	52; 54	80; 85	65; 76	–	–	–	8; Н10	28; 22	–	70	1,32
Осетр (3)	48	89	63	–	–	–	20	Э	20	–	1,7–1,9
Бестер (3)	–	85	66	–	–	–	Н54	Э	20	–	–
Без оболочек экструд.											
Форель (4)	–	75–85	–	–	–	–	–	–	–	–	1,7–1,9
Подсолнечный жмых											
Карп (1)	40	70	36	55	–	45	48	–	29	52	1,0
Подсолнечный шрот											
Карп (1; 2)	42/47	68/70	88/80	61/63	39/53	Н45/23	33/41	0,6Э/7,2	3/5	49/53	0,9/0,96
Форель (3)	67; 64	89; 90	83; 78	–	–	–	Н12; 6,5	23; 17	–	82	1,7
Бестер (3)	70	92	88	–	–	–	50	36	–	–	–
Рапсовый шрот											
Карп (2)	43/60	78/83	77/81	53/67	Н14/21	32/47	36/53	61Э/8	27/62–	50/68	0,9/1,24
Рапсовая мука											
Форель (5)	35	77	–	–	–	–	–	–	–	45; 65	0,8
Льняной шрот											
Карп (1)	50	83	65	–	–	–	37	22Э	34	54	1,0
Горчичный жмых											
Карп (1; 2)	50; 49/54	72; 64/66	83; 88/92	58; 70/65	Н34/55	41; 23/Н6	47;43/51	43Э/35Э	30; 24Э/23Э	58; 61/65	1,2; 1,3/1,4

Окончание табл. 41

Вид сырья, вид рыб	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы				Минеральные вещества		Энергия	
				Легко гидролизуемые	Лигнин	Клетчатка	Общая сумма	Сырая зола	Фосфор	%	МДж/ 100 г
Конопляный жмых											
Карп (1)	43	77	54	17	–	26	24	–	21	48	0,9
Арахисовый шрот											
Карп (1)	62	85	Э	65	–	44	50	–	39	64	1,3
Клещевинный жмых											
Карп (1)	53	87	74	30	–	52	49	–	36	63	1,3
Хлопчатниковый шрот											
Карп (1)	37	43	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Хлопчатниковая мука											
Форель (6)	–	75	–	–	–	–	–	–	58–64	–	–
Канальный сом (6)	–	76–83	–	–	–	–	–	–	59–80	–	–
Шрот хлореллы (гидролизат)											
Осетр (3)	46	62	70	–	–	–	30	23	–	–	–
Подсолнечная лузга											
Карп (2)	31/37	65/73	70/–	32/52	36/17	18/22	29/35	16Э/8Э	–	39/45	0,7/0,8

Примечания: 1. Перед чертой – гранулированные, за чертой – экструдированные, "Э"-Экскреция эндогенных элементов, "Н"-новообразование в результате ферментативного гидролиза различных групп углеводов.

2. Источники информации: 1 – Щербина, 1973; 2 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996а; 3 – Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985; 4 – Kaushik, 1990; 5 – Cho, 1993; 6 – Jauncey, 1995.

вещества становятся для карпов более доступными. Немного возрастает и общее количество переваренных веществ (см. табл. 41).

У форели и бестера белки и минеральные вещества подсолнечных жмыхов и шротов перевариваются лучше. Бестер хорошо усваивает углеводы, форель – очень плохо [Сергеева, 1989; Абросимова, 1997].

К частым недостаткам подсолнечных жмыхов и шротов относится их обсемененность микроорганизмами (в частности, белой гнилью и склеротинозом), которая появляется при переработке влажных семян. Длительное хранение сырых семян до извлечения масла приводит к накоплению в них афлатоксинов, что существенно снижает питательность этого кормового средства и повышает его токсичность.

В табл. 8 Приложения, где приведены сведения о лимитирующих аминокислотах в различных видах сырья, можно подобрать наиболее благоприятные сочетания подсолнечного шрота с другими компонентами. В табл. 6 и 7 Приложения даются нормы ввода и пределы включения подсолнечных жмыхов и шротов в комбикорма для различных видов рыб.

Подсолнечная лузга. Подсолнечная лузга отделяется от семян в процессе их подготовки к извлечению масла. Она представляет собой одеревеневшую растительную ткань, однородную по физической структуре, с большим постоянством химического состава и физико-механических свойств.

По отношению к общему количеству углеводов лузга содержит значительное количество плохо переваримых пентозанов – 24–28%, сырой клетчатки – 52–66% (в том числе целлюлозы – 31–42%) и лигнина – 10–30%. Количество азотистых веществ в абсолютно сухом веществе в пересчете на сырой протеин колеблется от 6 до 15%. В лузге присутствует богатый углеродом устойчивый пигмент фитомелан (1,4%). Количество фурфурола достигает 16–17%. "Лужистость" (содержание оболочки) в семенах подсолнечника колеблется в широких пределах в зависимости от сорта и масличности. У низкомасличных она достигает 40%, у высокомасличных – в 1,5–2,0 раза ниже (22–30%).

Основное количество лузги используется на производящих маслозаводах в качестве топлива. Частично она является сырьем для получения кормовых дрожжей, гидролизного спирта и фурфурола. Перспективным направлением считается ее использование в составе комбикормов для жвачных животных [Барта и др., 1984].

Как кормовое средство подсолнечная лузга, содержащая твердые и острые оболочки семян, способна травмировать пищеварительный тракт и, кроме того, является концентратом трудногидролизуемых углеводов. Без предварительной обработки она не может быть использована в кормлении рыб.

Наши эксперименты по оценке питательной ценности лузги в кормлении карпов [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996а] показали следующее. Лузга даже после предварительного дробления и обработки способом сухого прессования представляет собой кормовое средство с отрицательными биологическими и физиологическими свойствами. Рыбы поедали гранулы из лузги неохотно и теряли массу тела (1 кг потерь массы при потреблении 2,2 кг лузги). При этом переваривалась только одна треть сухого вещества и углеводов и 65–70% сырого протеина и липидов (см. табл. 41), общая доля которых мала. Переваримости зольных элементов не обнаружено; при этом выявлено выделение обменных фракций минеральных элементов, так называемая эндогенная экскреция. Последнее свидетельствует не только о плохой доступности, но и о резкой несбалансированности для карпов минеральной части лузги.

Экструзия (после предварительного дробления до частиц размером не более 1 мм) сделала лузгу более привлекательной для карпов. Ее суточное потребление возросло более чем в 2 раза, наблюдался рост рыб. По сравнению с обработкой способом сухого прессования после экструзии углеводистая и белковая части лузги стали более доступными для пищеварительной системы рыб, снизилась экскреция эндогенных минералов (см. табл. 41).

Продуктивные свойства гранул подсолнечной лузги после экструдирования из отрицательных изменились на положительные. Прирост 1 кг массы обеспечивал-

ся в среднем потреблением 2,8 кг лузги. Это дает основание говорить о возможности включения дробленой экструдированной лузги в комбикорма для товарных карпов (в количестве 5–10% от общего набора компонентов) при выращивании их в прудах. Лузгу можно применять и в качестве балластного вещества в высокобелковых комбикормах, обеспечивающего нормальную перистальтику кишечника, и для других видов рыб.

Соевые жмыхи и шроты. В настоящее время отделение масла от соевых бобов ведут преимущественно экстракционным способом, и вторичным продуктом в основном является шрот. Шроты изготавливают для кормовых и пищевых целей. В первом случае в обработку идут сырые необрушенные семена, во втором – бобы перед экстракцией масла проходят достаточно длительную подготовку: влаготепловую обработку, обрушивание, отделение оболочек и зародыша от ядра, кондиционирование и т.д. Эти шроты в настоящее время широко используются в пищевой промышленности. Поставляются в основном по импорту.

Отличительная особенность жмыхов и шротов из сои – высокое содержание сырого протеина – 46–50% (см. табл. 39). При этом важно, что почти половина белков представлена растворимыми глобулинами. Белки соевого шрота имеют благоприятное для животных соотношение аминокислот. Исключение составляет метионин, дефицит которого свойственен всем бобовым. По величине он больше, чем у подсолнечного и рапсового шротов, на 35–45%. Сведения о количественном содержании аминокислот, их доступности для рыб и степени соответствия их количеств потребностям рыб (скоры) приведены в табл. 40.

Содержание сырого жира в соевых жмыхах достигает 8%, в шротах – в пределах 0,5–3%. В соевых жирах преобладают линолевая (44–57%) и олеиновая (18–31%) кислоты. Количество незаменимой линоленовой составляет 6–9%. Этим жиры сои выгодно отличаются от подсолнечных, кукурузных и арахисовых (см. табл. 9 Приложения). Углеводы характеризуются в два раза более низким уровнем клетчатки и более высоким – сахаров, чем у других употребительных шротов. В минеральной части присутствует много калия, но она бедна фосфором, кальцием и магнием. Количество витаминов близко к таковому у других видов жмыхов и шротов.

Отрицательные свойства необработанной или частично обработанной сои – высокое содержание антипитательных веществ [Антипитательные факторы..., 1993; Чернышов, Панин, 2000]. Они вызывают неблагоприятные изменения в метаболизме и негативно отражаются на структуре и деятельности различных систем организма животных. Кроме того, эти вещества имеют различную растворимость и устойчивость к температуре.

К ***термонеустойчивым*** соединениям соевых жмыхов и шротов относятся *ингибиторы трипсина, уреаза, липоксидаза, лектины (фитогемагглютинины), белок сои, антитиреоидные вещества (гойтрогены)* и другие, т.е. вещества, способные разрушаться под действием температуры.

Под действием тепла не теряют активности или теряют ее в слабой степени термоустойчивые *гликозиды-сапонины и стероидный алкалоид-генистин (антивитамин Д).*

Сапонины (до 0,5% от сухого вещества сои) – хорошо растворимые в воде ядовитые вещества, не содержащие азота. Они более опасны при прямом попадании в кровь (например, через жабры рыб в условиях рециркуляционных систем), чем в пищеварительный тракт. Высокий их уровень в корме тормозит действие основных протеолитических ферментов поджелудочной железы – трипсина и химотрипсина. В результате снижается переваримость белка. Кроме того, корм приобретает горький вкус.

Генистин находится в количестве 0,1–0,5%. Действуя как антивитамин Д, он влияет на содержание кальция в костях. Способствует нарушению костеобразования и, в частности, вызывает рахит. При высоком уровне в корме отрицательно действует на рост животных. Поэтому при использовании шрота в комбикормах для личинок и молоди рыб необходимо дополнительное введение витамина Д.

Среди термолабильных агентов, способных частично или полностью разру-

шаться при различных режимах влаготепловой обработки, наиболее вредное действие оказывают *ингибиторы трипсина.* По природе это глобулярные белки; их количество доходит до 1–3,2%. Они инактивируют трипсин в кишечнике и при длительном присутствии в корме вызывают патологическую гипертрофию поджелудочной железы. Патологические изменения в поджелудочной железе приводят к нарушению переваривания не только белка, но и других питательных веществ, а в конечном итоге – к снижению эффективности кормления и задержке роста.

С ингибиторами трипсина в количественном плане коррелирует другой фермент – *уреаза,* который расщепляет мочевину на аммиак и углекислоту. Ее активность легко поддается определению. Поэтому в практике кормопроизводства об уровне ингибиторов трипсина судят по активности уреазы. Согласно ГОСТам, в соевых шротах она должна составлять менее 0,2 ед. (по изменению pH за 30 мин).

Активность ингибиторов трипсина подавляют термообработкой. Известно, что при температуре 130 °С инактивируется около 70% ингибиторов, при 190 °С – до 95% [Чернышов, Панин, 2000]. Однако прогрев при высокой температуре приводит к другим отрицательным эффектам. В результате денатурации белков резко снижается растворимость (особенно преобладающей глобулярной фракции), а также частично теряется их питательная ценность (уменьшаются доступность лизина и аргинина и переваримость протеина в целом). Кроме того, перегрев приводит к увеличению риска повреждения жировой фракции. Это было обнаружено нами в опытах с карпами [Щербина, 1971; Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996, 2000].

Белки *лектины (фитогемагглютинины),* содержание которых в сое достигает 1–3%, поступая в организм, обладают способностью присоединяться к оболочкам клеток и эритроцитов. При этом происходит их слипание, и как следствие, изменяются проницаемость мембран и активность ферментов внутри живой клетки. Активность лектинов ингибируется влаготепловой обработкой.

Фермент *липоксидаза* также снижает питательность шрота, катализируя окисление высоконенасыщенных жирных кислот, каротина и жирорастворимых витаминов. Он способен разрушаться, как и другие ферменты, при повышении температурного режима обработки.

Ядовитый белок *соин* (содержание до 5%) присоединяет цинк, делая его недоступным для животных. Кроме того, он снижает аппетит и затрудняет усвоение минеральных добавок (Zn, Mn, Cu, Fe). В значительной степени инактивируется при нагреве.

Гойтрогены – ингибируют действие тиреоглобулина, тироксина и трийодтиронина – гормонов щитовидной железы, которые регулируют рост, белковый и генеративный обмены.

В связи с наличием перечисленных антипитательных агентов соевые жмыхи и шроты после извлечения масла, как правило, подвергаются тостированию (обработке горячим воздухом). В процессе изготовления комбикормов для рыб они дополнительно проходят либо через сухое прессование (кратковременная обработка паром и прессование при температуре 85 °С), либо экструдируются или проводятся через экспандер.

Нами [Щербина, 1971] изучены питательные свойства соевого шрота у карпов. Эти рыбы, не имея желудка, переваривают пищу с помощью ферментов кишечника и поджелудочной железы, в частности, трипсина и химотрипсина. Обнаружено, что тепловая обработка при *тостировании* разрушает ингибиторы трипсина лишь частично. Доступность лизина (как показателя активности трипсина) составила 66%, переваримость сырого протеина – 71%, сухого вещества – 41%. Гранулирование тостированного шрота делает его более удобоваримым (см. табл. 40 и 41). Коэффициенты доступности лизина и переваримости протеина возрастают до 77%, сухого вещества – до 51%. Наилучший эффект дала экструзия. Переваримость сырого протеина возросла до 84%, доступность лизина – до 88%, сухого вещества – до 66%. Согласно скорам степень удовлетворения потреб-

ности карпов в доступном лизине и метионине при гранулировании составила лишь 67 и 44%, при экструдировании – 89 и 53% (см. табл. 40). После экструзии тостированного шрота происходит разрушение фермента липоксидазы и повышение переваримости липидов с 11 до 83%.

Скорость роста карпов при питании экструдированным шротом по сравнению с тостированным с последующим гранулированием возросла на 15% при снижении его затрат на единицу прироста массы на 20%.

В зависимости от технологических режимов обработки различия в степени инактивации перечисленных антипитательных веществ соевого шрота велики. Неоднозначный эффект применения шротов в кормлении рыб во многом вызван этой причиной. Нами был отмечен парадоксальный факт – значительно лучший физиологический и продукционный эффект в кормлении карпов при замене в комбикорме 10% тостированного соевого шрота на рапсовый, изготовленный способом форпрессования–экстракции. Это означает, что антипитательные факторы, первоначальное содержание которых может достигать 12–13% сухого вещества, при тостировании сои разрушаются недостаточно полно. В пищеварительном тракте безжелудочных карповых рыб, где нет первичной обработки пищи соляной кислотой и пепсином, их активность остается достаточно высокой и вызывает значительные изменения в пищеварительных и обменных процессах. В то же время лососевые и осетровые рыбы, обладающие желудком и пилорическими придатками (пищеварение осуществляется последовательно в кислой и щелочной среде), способны извлекать из тостированных и гранулированных соевых шротов 80–89% сырого протеина, 63–76% липидов, 48–54% сухого вещества (см. табл. 41). Скоры доступного лизина у молоди осетровых выше и составляют 105% [Абросимова, 1997], у форели – 81–99%. Однако скоры метионина остаются все же очень низкими – соответственно 45 и 35% (см. табл. 40), что более чем наполовину снижает продуктивное действие белков сои. Выход из подобной ситуации – обогащение комбикормов, содержащих соевые жмыхи и шроты, синтетическим метионином, что нередко применяется в практике кормопроизводства.

Следует отметить, что у всех видов подопытных рыб темп роста и конверсия кормов, содержащих много соевых продуктов, в определенной степени коррелируют с уровнем доступности лизина и степенью переваримости сырого протеина.

Подводя итог представленным данным, следует обратить внимание и на то обстоятельство, что потенциально высокие свойства соевого шрота достаточно полно проявляются только после экструзии, в наибольшей степени разрушающей антипитательные агенты.

В заключение также необходимо отметить, что в связи с наличием в побочных продуктах переработки сои антипитательных веществ, имеющих различную устойчивость к температуре, введение их в больших количествах в корма для лососевых не рекомендуется [New, 2001, цит. по Владовской, 2002]. Для молоди лосося большинство зарубежных производителей кормов их не вводят. Особую осторожность рекомендуется проявлять при кормлении производителей в связи с присутствием в сое термоустойчивого фитоэстрогена генистина. По сведениям, приведенным в обзоре С. Владовской [2002], его наличие в кормах приводило к задержке размножения и ухудшению репродуктивной функции радужной форели. Было замечено, что и во втором поколении рост рыб замедлялся, и темпы этого замедления зависели от количества генистина в кормах рыб первого поколения. На этом основании было рекомендовано не включать побочные продукты переработки сои в комбикорма для производителей и личинок рыб, выращенных в индустриальных условиях.

В то же время присутствие в сое больших количеств термоустойчивых и ядовитых сапонинов, тормозящих действие поджелудочных ферментов и ухудшающих условия переваривания белков, а также генистина, нарушающего процессы костеобразования, требует осторожности при использовании соевых продуктов в кормах для личинок и молоди рыб, особенно не имеющих желудка.

Ориентировочные нормы введения соевого шрота в комбикорма для рыб приведены в табл. 6 и 7 Приложения.

Рапсовые жмыхи и шроты. Рапс (сурепица) относится к тем масличным культурам, которые могут возделываться в районах с умеренным климатом. В настоящее время его посевы интенсивно расширяются, и по общему объему производства рапсовые жмыхи и шроты выходят на пятое место в мире.

Для отделения масла неочищенные семена рапса подвергают двойному отжиму, так называемому форпрессованию. На первой его стадии отжимается основное количество масла, в процессе второй–идет отжим остаточных количеств. Твердый остаток представляет собой жмых. Шрот обычно является побочным продуктом применения способа "форпрессование–экстракция": основное количество масла выделяется после отжима, а остатки экстрагируются из плющеного жмыха растворителями.

В зависимости от сорта рапса и технологии получения масла уровень сырого протеина в жмыхах и шротах колеблется от 30 до 50% (см. табл. 39). Белки рапса обладают высокой биологической ценностью и превосходят белки кормовых бобов, гороха, подсолнечника и близки к сое.

В комплексе сырого протеина содержание белков достигает 82–87%. Фракции белков хорошо сбалансированы по аминокислотному составу. Несмотря на то, что уровень лизина в них ниже, чем в соевом шроте на 8–10%, их большое преимущество – более высокое (почти в 2 раза) содержание метионина и других серусодержащих аминокислот (цистина, цистеина и т. д.). Это ценное свойство рапса делает его желательным компонентом комбикормов, так как основные виды растительного сырья дефицитны по метионину.Незаменимые аминокислоты рапсового шрота доступны для карпов в пределах 81–89% (см. табл. 40).

Доля липидов в жмыхах доходит до 10%, в шротах – колеблется около 0,2–2,5%. В составе рапсового масла, судя по табл. 9 Приложения, преобладает энергоемкая олеиновая кислота (до 48% в зависимости от сорта). Широкий диапазон колебаний важных для рыб жирных кислот – линолевой (11–27%) и линоленовой (6–22%), обусловлен способностью рапса синтезировать в больших количествах (до 50%) токсичную для животных *эруковую кислоту* (22:1n–4). Несмотря на ее присутствие в малых количествах в естественной пище рыб, в больших дозах она оказывает неблагоприятное действие на здоровье животных, отрицательно влияет на деятельность сердечной мышцы. Значительная часть этой кислоты удаляется при извлечении масла из семян, но и остаточные количества могут тормозить обменные процессы. Поэтому в последние десятилетия в мире ведется интенсивная селекция безэруковых сортов рапса. Ее содержание в липидах снижается до 11–0% (см. табл. 9 Приложения). Это сорта Bwasgica napus и B. campestris, так называемый, рапс-канола.

На углеводистую часть в рапсовых жмыхах и шротах приходится около 50%, из них около 13% занимает клетчатка, а крахмал и свободные сахара–35–38%. В отношении минерального состава они значительно богаче соевых фосфором, магнием (в 2–1,5раза) и кальцием. Причислить к хорошим источникам витаминов их нельзя. Но по сравнению с соевым в их составе в два с лишним раза больше холина (витамина B_4) и почти в 4 раза – никотиновой кислоты (витамина B_5).

Таким образом, из входящих в состав рапса компонентов наибольшую ценность представляют белки. Однако семена рапса и продукты их переработки используются при изготовлении комбикормов для сельскохозяйственных животных и рыб в ограниченных количествах. Помимо *эруковой* кислоты, это связано с наличием в их составе других вредных веществ, которые остаются в жмыхах и шротах после извлечения масла. Прежде всего, это *глюкозинолаты*, принадлежащие к *тиоглюкозидам* – углеводистым соединениям, содержащим серу.

Нетоксичные сами по себе, глюкозинолаты расщепляются под действием содержащегося в семенах фермента *мироциназы* с освобождением группы токсических веществ *(тиоционатов, изотиоцинатов* и других соединений). Реакция идет при наличии влаги и тепла. Механизм их действия заключается в подавлении функции щитовидной железы посредством связывания йода и образования *анти-*

гормонов. Кроме того, в рапсе содержатся такие гликозиды, *как синигрин, синальбин, гликонопин* и др., которые разрушают слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта, нарушая тем самым процессы пищеварения, а также негативно отражаются на работе сердца и почек. *Синапин, полифенолы, фитиновая кислота* и другие оказывают вредное действие на процессы биосинтеза.

Комплексное воздействие этих соединений осложняет обменные процессы в организме животных и является основным фактором, лимитирующим пищеварение и использование белков рапса животными и рыбами. Так, в опытах Ч. Чо [Cho, 1993] с форелью рапсовая мука переваривалась только на 35%, ее белки – на 77%, энергия – на 45% (см. табл. 41).

Повышение питательности рапса возможно путем использования различных способов технологической обработки. Как указывалось выше, часть вредных *эруковой и кротоновой кислот* удаляется при извлечении масла, поэтому в шротах их меньше, чем в жмыхах. Другая часть разрушается при тепловой обработке и воздействии давления. Однако в наших опытах на карпах [Щербина и др. 2001] влаготепловая обработка шрота по способу сухого прессования при 65 °С дала очень слабый эффект. Оставшиеся токсины тормозили деятельность пищеварительной системы, в результате переваримость сухого вещества составила 43%, углеводов – 36%, сырого протеина и жира – около 77% (табл. 42).

Таблица 42. Влияние способа изготовления рапсового шрота на переваримость его питательных веществ у карпа, % принятых с кормом

Способ изготовления	Сухое вещество	Сырой протеин	Липиды	Углеводы	Зольные элементы	Энергия
Гранулирование	43	78	77	35	61Э	50
Форпрессование – экстракция	50	64	77	48	23Э	57
Экструдирование	60	83	81	53	8	68

Примечание. Э – выделение из организма с экскрементами обменных фракций минералов (эндогенная экскреция).

Применение способа "форпрессование–экстракция" с предварительным тостированием также не позволило обезвредить основное количество *глюкозинолатов* (хотя при тостировании в режиме 100 °С *мироциназа* должна разрушаться). При активном потреблении шрота организм карпа реагировал на него отрицательно. Функциональная активность пищеварительной системы была низкой. В результате уменьшилась переваримость всех питательных веществ. Произошли неблагоприятные изменения в обменных процессах (обезвоживание, сокращение синтеза липидов), в три раза снизился прирост массы. Уменьшилось использование на рост рыб органических веществ и энергии, что привело к увеличению затрат корма [Щербина и др., 2001].

Положительные качества рапсового шрота этой технологии выработки проявляются при ограничении его количества в комбикорме до 10% и при условии его изготовления методом сухого прессования (т.е. при дополнительной термической обработке).

Более полное обезвреживание рапсового шрота возможно при гидробаротермической (экструзионной) технологии изготовления комбикорма [Щербина и др., 1996а, 1999]. Первой реагирует пищеварительная система рыб. Переваримость суммы питательных веществ комбикорма возрастает на 40% в основном за счет углеводов, белка и минералов (см. табл. 42). Доступность незаменимых аминокислот повышается до 86–92% (см. табл. 40). Патологические изменения в обмене веществ не выявлены. Рост рыб ускоряется в 1,8 раза при снижении затрат корма на 20%.

О влиянии технологии изготовления на питательные свойства рапсового шрота можно судить по коэффициентам его переваримости у карпов (см. табл. 42).

Как показали наши опыты, в комбикормах для карпа экструдированный рапсовый шрот в количествах 30–40% может служить полноценным заменителем соевого и подсолнечного шротов, особенно, если принять во внимание повышенное содержание и хорошую доступность его метионина (скор для карпа 104% против 40–50% соевого).

Нормы его включения в комбикорма для карпов и других видов рыб даны в табл. 6 Приложения.

По сведениям Вебстера [Webster, 1997], жмыхи рапса-канола (бедного эруковой кислотой и глюкозинолатами) можно включать в комбикорма для молоди канального сома (с 4% рыбной муки) до 36%; его добавка в корм в количестве 48% вызывает снижение роста. В корма для лососевых включают до 20% рапсовой муки, в корма для тиляпии – до 15%.

Горчичные жмыхи и шроты. Из семян горчицы после их обрушивания извлекают горчичное масло способами прессования или экстракции. В зависимости от степени очистки от шелухи остающиеся жмыхи и шроты идут на изготовление горчичного порошка или на кормовые цели. Шелуху обычно используют в виде топлива, но есть попытки ее применения в кормлении карпов.

По усредненным данным, из расчета на сухое вещество жмыхи и шроты содержат 25–38% сырого протеина, до 13% (жмыхи) и 5% (шроты) общих липидов, несколько более 6% золы, около 1,5% фосфора. Из 50% углеводов немногим более половины приходится на крахмал и различные сахара. Доля клетчатки достигает 17–18%, лигниноподобных веществ – около 5%. По общему содержанию белков, липидов и углеводов горчичный жмых (табл. 43) может быть потенциальным источником органических веществ в комбикормах для рыб.

Горчица, как и рапс, принадлежит к семейству крестоцветных, их семена близки по химическому составу. Ее липиды помимо полезного свойства – высокого содержания линоленовой кислоты (12–21%), имеют в своем составе токсичную *эруковую кислоту* (39–52%, см. табл. 9 Приложения).

Жмыхи и шроты горчицы содержат и другие потенциальные яды – *эфиры изотиоцианидов (их называют горчичными маслами).*

Таблица 43. Примерное содержание питательных веществ в отдельных жмыхах, шротах и подсолнечной лузге, % абсолютно сухого вещества

Показатели	Арахисовый		Горчичный		Клещевинный жмых	Подсолнечная лузга	
	шрот	жмых	шрот	жмых		гранулированная	экструдированная
Валовая энергия, МДж/100 г	2,02	2,10	1,99	2,12	1,96	1,76	1,77
Сырой протеин, %	54,0	43,0	38,4	31,0	41,2	11,4	14,9
Сырой жир, %	1,2	7,6	5,0	12,4	4,7	4,3	5,2
Углеводы, %	38,8	44,2	49,9	50,5	44,8	74,9	68,9
В том числе клетчатка	5,4	13,9	14,2	17,0	26,0	20,3	19,2
Сырая зола, %	6,0	5,2	6,7	6,1	9,3	9,4	10,2

Примечание. Источники информации: Щербина, 1973; Аликаев и др., 1982; Нормы и рационы..., 1985; Справочные сведения..., 1990.

В семенах горчичные масла находятся в связанном с сахарами состоянии в виде глюкозидов. При дроблении семян в присутствии влаги они распадаются на летучие ароматические и токсически действующие вещества. Все горчичные масла – сильные раздражители. Они вызывают воспалительные процессы на всем протяжении пищеварительного тракта [Калачнюк, 1989]. Возможно, именно этим свойством обусловлен антигельминтный эффект горчичного жмыха при лечебном кормлении им карпов.

Глюкозинолаты, проходя в организме путь последовательных превращений, образуют токсичные соединения, которые снижают аппетит животных и вызывают гипертрофию щитовидной железы. Эти продукты, выделяясь через почки, поражают их паренхиму и обусловливают появление нефритов. Детоксикация образующихся веществ зависит от наличия серы, основным источником которой служит метионин. У сельскохозяйственных животных при включении в корм горчичного жмыха рацион обогащают серой за счет добавок сернокислого натрия [Калачнюк, 1989]. Кроме того, токсические продукты могут влиять на обмен минеральных веществ, вступая с ними в различные соединения и уменьшая их растворимость в пищеварительных соках [Антипитательные факторы ... 1993]. Это подтверждается нашими экспериментами с карпами (см. табл. 41), где было показано, что зольные элементы горчичного шрота находятся для карпов в неусвояемой форме. Одновременно у рыб обнаружены экскреция в кишечник обменных фракций минералов и их выделение с экскрементами.

Для обезвреживания антипитательных факторов горчичного жмыха используются те же способы предварительной гидротермической и гидробаротермической обработки, что и для токсических агентов рапса.

В наших опытах [Щербина, 1973; Щербина и др., 2001] гидротермическая обработка горчичного жмыха в режиме сухого прессования оказалась недостаточной для разрушения большей части токсических веществ. Несмотря на относительно высокую переваримость у карпов сырого протеина (64–72%), жиров (83–88%) и углеводов (43–47%) горчичного жмыха, рыба, питаясь им, практически не росла, но потребляла его в 3–4 раза больше, чем комбикорма.

Токсическое действие горчичного жмыха подтверждалось визуальными наблюдениями. Интересно отметить, что первые 3–4 дня карпы охотно брали корм, затем его потребление резко сократилось, рыба потеряла аппетит, при обловах была вялой, имела бледную и мутную окраску. Рост рыб через 25–30 дней полностью прекратился.

Токсические вещества, воздействуя на слизистую оболочку кишечника и ингибируя работу пищеварительных желез, снизили доступность для рыб лизина до 58% (см. табл. 40). В результате степень удовлетворения потребности карпа в лизине, согласно скору, составила лишь 40%. Поэтому лизин, несмотря на относительно высокое содержание, оказался первой лимитирующей кислотой. Следующими были метионин (скор 52%) и изолейцин (скор 53%). Но это уже обусловлено их низким содержанием в белках. Кроме того, оставшиеся токсины, влияя на обмен веществ, вызвали типичное для интоксикации обезвоживание организма наряду с патологическим накоплением липидов и потерей минеральных веществ, что свидетельствует о старении и разрушении клеток организма рыб.

Экструзия жмыха при одновременном воздействии температуры, воды и давления сделала его органические вещества удобоваримыми для карпа (см. табл. 41). В результате несколько нормализовался обмен веществ и усилился рост рыб. Однако его скорость была намного ниже, чем у рыб, потреблявших другие виды экструдированных шротов (рапсового, соевого, подсолнечного). Это дало основание сделать вывод, что и экструзия недостаточно полно разрушает антипитательные агенты. Их остатки продолжают оказывать на рыб неблагоприятное действие.

Ввод горчичного жмыха в комбикорма для карпов даже после экструдирования допустим в ограниченных количествах (до 10 – максимум 15%) в основном при необходимости дегельминтизации пищеварительного тракта рыб. Возможно, благоприятный эффект даст введение в комбикорм, содержащий горчичный жмых, сернокислого натрия и синтетического метионина. Поиск технологических способов детоксикации следует продолжить.

Анализ значений скоров аминокислот позволяет говорить, что при подборе белков в рационы карпа горчичный жмых наиболее целесообразно сочетать с соевыми и арахисовыми жмыхами и шротами, а также бобовыми, из группы злаковых – с ячменем, просо, рисом (см. табл. 6 Приложения).

В качестве компонента комбикормов для форели применять горчичный жмых не рекомендуется.

Льняные жмыхи и шроты. Представляют собой побочные продукты после удаления масла из неочищенных семян льна. Льняные жмыхи, как и рапсовые, обычно получают после двойного прессования (первое – форпрессование, второе – отжим остаточных количеств масла); шроты – после форпрессования и дальнейшей экстракции масла растворителями.

Льняные жмыхи и шроты относятся к группе с несколько меньшим содержанием белка и худшим аминокислотным составом (см. табл. 39 и 40). Пределы колебаний в них сырого протеина составляют 32–38%, липидов – от 0,5 (шроты) до 11–12% (жмыхи). На долю углеводов приходится около 50%, в том числе 32–37% крахмала и свободных сахаров, а клетчатки 9–12%. Общее количество минеральных элементов – около 6% Семена льна являются лучшими естественными источниками селена, его содержание колеблется от 0,13 до 3,1 мг/кг [Черныш, Панин, 2000]. Отличительная особенность – присутствие в оболочках семян слизеобразующего компонента углеводистой природы (3–10%), который сильно набухает в воде и практически не переваривается моногастричными животными [Антипитательные факторы..., 1993].

Кроме того, льняные жмыхи и шроты содержат *цианогенный гликозид – линамарин.* В сырых семянах льна под действием фермента *линазы* он способен превращаться в самую ядовитую кислоту – синильную. Уже в количестве 0,02% она представляет большую опасность для животных. Ее содержание в льняных жмыхах может достигать 0,03%, шротах – 0,06%. Частичная детоксикация синильной кислоты возможна при гидро-термической, а достаточно полная – при гидро-баро-термической обработке, а также при введении дополнительных количеств активных SH–групп в составе цистина и метионина, а также лизина. Помимо всего, в жмыхах и шротах присутствует пептид *линатин,* который является антагонистом пиридоксина (витамина B_6) и может вызвать симптомы его недостатка.

В масле семян льна исключительно высокое количество (45–60%) незаменимой линоленовой кислоты (табл. 9 Приложения). Однако из-за малого содержания общих липидов в шротах и ограниченных норм их включения в комбикорм шроты не могут считаться хорошим источником линоленовой кислоты в комбикормах.

Аминокислотный состав льняного семени характеризуется относительно низким содержанием лизина и гистидина. Согласно скорам (см. табл. 40), эти аминокислоты льняного шрота в доступной форме способны удовлетворить потребность карпа в лизине на 44% и на 55% – в гистидине. Скор метионина, напротив, очень высок – 102%. Существенного недостатка остальных аминокислот, как незаменимых, так и заменимых, не выявлено [Щербина, 1973].

Питательные вещества льняного шрота перевариваются у карпа в целом не хуже, чем других жмыхов и шротов (см. табл. 41): сырой протеин – на 83%, липиды – на 65%. Обнаружена эндогенная экскреция зольных элементов (22%), что свидетельствует о выделении из организма в процессе переваривания льняного жмыха обменных фракций минералов. На долю углеводов приходится около 50% сухого вещества корма, однако их переваримость составляет всего 37%. Соотношение энергии переваримых азотсодержащих и безазотистых веществ достаточно узкое – 1: 0,73.

По нашим наблюдениям, при содержании карпов на монодиете из гранулированного льняного шрота они привыкают к нему в течение 5–6 дней, хорошо едят его 10–15 дней, а далее – на 30-й день – интенсивность питания снижается в 5–10 раз и резко увеличиваются затраты корма. При этом прирост массы очень мал. Одновременно наблюдались патологические изменения в структуре слизистой оболочки кишечника и изменения в обмене веществ. Они выразились в сильном обводнении организма, избыточном приросте белка, убыли углеводов и липидов. Накопление зольных элементов было в 2 раза больше нормы [Щербина, 1973].

Все эти явления, по–видимому, связаны не столько с неполноценностью белков льна, сколько с наличием и кумулятивным действием перечисленных антипитательных факторов.

Принимая во внимание положительные и отрицательные эффекты льняного шрота, его не следует включать в комбикорма для сеголеток карпа свыше 5%, для

двухлеток – 10%. Нормы ввода для остальных рыб приведены в табл. 6 Приложения. При подборе компонентов в смеси следует избегать его сочетания с хлопковыми и клещевинными жмыхами и шротами. Благоприятны сочетания с соевыми жмыхами и шротами, а также с ячменем.

Хлопчатниковые жмыхи и шроты. Хлопчатниковые жмыхи получают после извлечения масла из семян хлопчатника по схеме однократного или двукратного прессования с обрушиванием оболочки и отделением подпушка и короткого волокна или без обрушивания. Шроты – остаточный продукт упрощенной технологии – прямой экстракции масла без первичного форпрессования. Они обычно выпускаются в гранулированном виде, что позволяет улучшить условия их хранения и снизить взрывоопасность.

Выход продукции и содержание питательных веществ в хлопчатниковых жмыхах и шротах зависит от применяемой технологии. При обработке необрушенных семян их масса больше, а питательных веществ – меньше, обрушенных – наоборот. В связи с этим содержание основных питательных веществ колеблется в широких пределах (см. табл. 39). Уровень протеина в жмыхах в пересчете на сухое вещество может находиться в диапазоне 22–44%, липидов – 7–9%, клетчатки – 12–16%. Зольные элементы составляют около 6%. В шротах количество протеина может изменяться от 23 до 46%, липидов – от 1,2 до 4,5%. Углеводистая часть составляет около 45%. Она состоит в основном из целлюлозы и содержит мало лигнина. Количество золы 6–7%. В семенах хлопчатника много фитина, поэтому минеральные вещества находятся в плохо усвояемой форме фитатов–солей фитиновой кислоты, а фосфор фитатов практически не доступен организму безжелудочных рыб.

Жирнокислотный состав липидов семян хлопчатника относительно благоприятен: на долю линолевой кислоты приходится 50% и более, олеиновой – 17–30%, пальмитиновой – 19–25%. Недостаток – очень низкое содержание или отсутствие линоленовой кислоты – 0,2–0,7% (см. табл. 9 Приложения).

Особенность белков семян хлопчатника – высокий уровень растворимых фракций (до 65%), что теоретически должно делать их хорошо переваримыми. Однако коэффициенты их переваримости у рыб невысоки (см. табл. 41) (у карпа и форели 73–75%, канального сома – 76%, изредка 82%).

Результаты научных экспериментов и практика применения жмыхов и шротов хлопчатника в комбикормах для рыб свидетельствует, что они обладают низкой продукционной эффективностью, неадекватной содержанию белка [Щербина, 1973]. Это обусловлено двумя факторами: резким дефицитом незаменимой аминокислоты лизина (2,9% против 4–6% в белках других шротов) и его низкая доступность для рыб (47% против 80–90%, табл. 42). В результате, согласно величине скора – 21%, они могут удовлетворить лишь 1/5 часть потребности карпа в этом незаменимом элементе питания. Кроме того, обнаружен недостаток метионина (скор 43%) – вещества важного для детоксикации, а также другой незаменимой аминокислоты – изолейцина (скор 52%).

Второй фактор – наличие *яда госсипола.* Он является специфическим полифункциональным соединением фенольной природы с чрезвычайно большой реакционной способностью (в частности, к поглощению кислорода). *Госсипол* синтезируется только в хлопчатнике. В жмыхах и шротах он присутствует либо в свободном высокоактивном состоянии и обладает сильно выраженной токсичностью, либо в связанном, так как легко вступает в соединения, прежде всего с лизином, глюкозой и минеральными элементами, в частности с железом. Эти комплексные соединения не токсичны, но в то же время не поддаются действию пищеварительных ферментов. Процесс образования комплексных соединений активно идет при влаго-тепловой обработке жмыхов и шротов во время изготовления комбикормов, а также непосредственно в пищеварительном тракте. Именно с этим связана низкая доступность лизина, метионина и железа хлопчатника для организма рыб, что приводит впоследствии к развитию *микроцитогипохромной* анемии из-за недостатка железа [Чернышов, Панин, 2000].

Таким образом, с одной стороны, связывание *госсипола* приводит к его обезвреживанию и повышению питательности хлопчатниковых жмыхов и шротов, с другой – к снижению пищевой ценности их белка и корма в целом.

Количество *свободного госсипола* в хлопчатниковом шроте, по требованию нормативных документов, не должно превышать 0,01–0,02%. Однако в производстве этот норматив нередко нарушается, и хлопчатниковый шрот с повышенным содержанием *госсипола* употребляется при изготовлении комбикормов для прудовых карпов.

В связи с этим во ВНИИПРХе были выполнены специальные токсикологические исследования [Буховец, 1983]. Они опровергли бытовавшее в рыбоводстве мнение [Суховерхов, 1971], что организм рыб в силу свой холоднокровности мало чувствителен или совсем не чувствителен к пищевым ядам.

В модельных экспериментах на карпах удалось показать, что функциональные и клинические признаки *госсипольного отравления* у рыб аналогичны таковым у теплокровных животных [Буховец, 1983, 1984].

Установлено, что этот яд угнетает работу пищеварительной системы, ингибирует гидролитическую и всасывательные функции. Вызывая анемию, токсически действует на дыхательную функцию крови, подавляет защитную и синтетическую функции печени. При длительном воздействии госсипола в организме карпов происходят необратимые изменения в обмене веществ – обезвоживание, накопление пластического материала в клетках, что приводит к их быстрому старению.

На основе результатов этих исследований разработаны достаточно эффективные способы повышения питательности хлопчатникового шрота для карпов.

Для детоксикации госсипола была использована пшеница, углеводы и энзимокомплекс которой оказались способными частично связывать этот яд. Оптимальное соотношение хлопчатникового шрота и пшеницы 1:1. Недостаточность лизина восполнялась за счет введения его синтетических кормовых препаратов [Щербина, Буховец, 1992]. Разработанные рецепты комбикормов для товарного карпа (КТХ, КТХ-92-1 и КТХ-92-2) с содержанием хлопчатникового шрота до 40% показали их высокую эффективность.

Однако наиболее действенным способом детоксикации госсипола и повышения питательности кормов, содержащих хлопчатниковые жмыхи и шроты, оказалась их экструзия перед включением в комбикорма. В этом случае отмечено ускорение роста карпов до 16% и сокращение затрат корма на прирост продукции до 28% [Щербина, Гамыгин, Буховец, 1996]. Повысить питательность кормов с хлопчатниковым шротом можно и другим способом – путем введения железистых препаратов и легкоусвояемых рыбами фосфатов (последнее необходимо ввиду наличия большого количества фитатов).

При включении в комбикорма для карпов хлопчатникового шрота нежелательно сочетать его с подсолнечным и клещевинным шротами, а также с рожью и ее отрубями.

В кормлении других видов рыб хлопчатниковый шрот обычно не используется. В мировой практике применяется хлопчатниковая мука, которая вводится в корма для всеядных и растительноядных рыб в среднем в количестве 25% (см. табл. 6 и 7 Приложения).

Клещевинные жмыхи и шроты. Семена клещевины перерабатываются экстракционным способом по схеме форпрессование–экстракция с предварительным обрушиванием или без него. По химическому составу они представляют собой высокобелковые концентраты (табл. 44) [Справочник по вторичным материальным ресурсам, 1984].

Несмотря на высокое содержание и хорошую переваримость сырого протеина (87%) (см. табл. 41), его питательная ценность для карпов крайне низка [Щербина, 1973]. Это обусловлено резким недостатком (лимитированием) трех незаменимых аминокислот: метионина, лизина и фенилаланина. Наряду с их плохой доступностью для рыб, о чем свидетельствуют их скоры (соответственно, 20, 25, 36%)(см. табл. 40), это как минимум в 4–5 раз снижает продукционные возмож-

ности белка. Помимо неполноценности белка клещевины, отрицательное значение имеют и низкое содержание в ней гидролизуемых углеводов – 10%, и их плохая переваримость (30%) [Щербина, 1973].

Таблица 44. Содержание питательных веществ в клещевинных жмыхах и шротах, % сухого вещества

Вещества	Жмыхи	Шроты
Сырой протеин	36–41	42–48
Сырой жир	5–10	0,5–2
Клетчатка	28–32	32–39
БЭВ	7–16	16
Зола	9–10	Около 8

По нашим данным, чистый клещевинный жмых карпы едят очень неохотно в малых количествах и почти не растут. Коэффициент использования сухого вещества корма на прирост единицы массы составлял лишь 8,5%.

Одна из причин этого явления–присутствие в семенах клещевины ядовитого вещества *рицина.* Это чрезвычайно токсичный гликопротеин *(токсальбумин),* который обладает сильным физиологическим действием [Чернышов, Панин, 2000]. Как *фитгемагглютинин, рицин* быстро проникает в клетки животного организма, разрушая их важнейшие органеллы, в частности рибосомы, в которых осуществляется синтез белка.

Инактивация *рицина* достигается влаготепловой обработкой. Наиболее эффективной оказалась экструзия [Желтов и др., 1980].

В составе комбикормов для карпа в целях ликвидации дефицита лимитирующих аминокислот экструдированные клещевинные жмыхи и шроты могут сочетаться с экструдированными рапсовыми, рыбной мукой, а для обогащения углеводами – ячменем и пшеничными отрубями.

Арахисовые жмыхи и шроты. Сырье для получения арахисовых жмыхов и шротов – арахисовые бобы или земляные орехи. Масло отжимают способами форпрессования или экстракции. Шроты и жмыхи имеют в своем составе от 54 до 35–43% сырого протеина. Доля растворимых фракций белка достигает 68% и более. Содержат соответственно 39–45% углеводов, в том числе 5 и 14% клетчатки, 6–5% зольных элементов. Предельное содержание липидов в шротах 2%, жмыхах – 8% (см. табл. 43). Жиры арахиса на 40–69% состоят из олеиновой кислоты и на 20–38% – из линолевой (см. табл. 9 Приложения). Количество линоленовой кислоты очень мало – 0,3–1,0%.

По нашим данным [Щербина, 1973], сырой протеин хорошо переваривается в организме рыб, например у карпа – на 85% (см. табл. 41). Углеводы усваиваются наполовину, сухое вещество и энергия – более чем на 60%. Однако, несмотря на хорошую переваримость питательных веществ, коэффициенты использования арахисового шрота на рост карпов недостаточны. Это дало основание говорить о низкой питательности этого компонента комбикормов.

Одна из причин явления – несбалансированность белка. Она выражена в резком несоответствии соотношения аминокислот потребностям в них рыб. Так, скор доступного изолейцина составил лишь 15%, метионина – 31%, лизина – 34% (см. табл. 40). Это указывает на нерациональные траты в организме рыб до 85% потребленного белка. Известно, что избыток в питании животных неполноценного белка так же вреден, как и недостаток, т.к. для его переработки от организма требуются дополнительные затраты пластического материала и энергии и как следствие – излишнее потребление корма.

Помимо этого, арахисовым жмыхам и шротам свойственен недостаток витамина $B_{12,}$ и они часто подвергаются заражению *афлатоксинами,* что также отражается на их продуктивном действии.

Для повышения питательности протеина арахисового шрота, наряду с обогащением энергоемкими компонентами посредством включения в рацион злаковых, необходимо сочетать его с другими видами жмыхов и шротов, например, такими экструдированными шротами, как рапсовый, подсолнечный, льняной. Однако не следует допускать его в качестве основного компонента рациона. Из группы злаковых наиболее благоприятно его сочетание с ячменем. Недостаток лимитирующих аминокислот можно покрыть включением сырья животного происхождения.

Нормы ввода арахисовых жмыхов и шротов в комбикорма для рыб и их ограничения приведены в табл. 6 Приложения.

Конопляный жмых. Для извлечения конопляного масла используют обрушенные и необрушенные семена, поэтому химический состав остаточных жмыхов подвержен колебаниям. Так, содержание сырого протеина у первых, по стандарту должно быть не менее 35%, у вторых – 33%. Количество клетчатки при этом достигает более половины всех углеводов.

Конопляный жмых относится к высокобелковым видам растительного сырья. По результатам наших опытов [Щербина, 1973], его белок достаточно хорошо переваривается – 77% (см.табл. 41). Доступность аминокислот колеблется в пределах 82–98% (см. табл. 40). Однако благодаря низкому содержанию лизина (4,1%), который оказался главной лимитирующей аминокислотой (скор 47%), белок конопляного жмыха также недостаточно полноценен для рыб. Остальные незаменимые аминокислоты либо близки к потребности, либо превышают ее. Углеводистая часть корма доступна для рыб очень плохо: легкогидролизуемые углеводы перевариваются на 17%, а сумма всех углеводистых веществ – на 24%.

Достоинство конопляного жмыха – его аттрактивные свойства. Благодаря им жмых охотно поедается карпами, и рыбы хорошо растут. Для повышения продуктивного действия белка и восполнения дефицита лизина конопляный жмых желательно сочетать с соевым шротом, рыбной мукой. Недостаток углеводов целесообразно пополнять за счет ячменя.

Нормы ввода в комбикорма и ограничения приведены в табл. 6 Приложения.

3.2. Продукты микробиологического синтеза

Этот вид комбикормового сырья представлен биомассой различных дрожжей и микроорганизмов, производимой на предприятиях микробиологической промышленности.

По скорости биосинтеза белковой массы бактерии и дрожжи значительно превосходят все известные живые существа. Из дрожжей в основном используются непатогенные виды, относящиеся к родам Candida, Torulopsis, Kluyveromyces, Saccharomyces и др. Культивируемая на различных субстратах биомасса дрожжей обладает целым рядом питательных свойств, полезных для животных. К ним относится способность продуцировать в больших количествах полноценные по аминокислотному составу белки, синтезировать витамины, а также иметь в своем составе углеводы, достаточно хорошо доступные рыбам, и ряд других веществ.

По набору и соотношению незаменимых аминокислот (за исключением метионина) их белки способны удовлетворять потребности основных видов культивируемых рыб. Однако дрожжи в своем составе содержат много небелкового азота. Общая сумма безводных остатков аминокислот существенно ниже показателя "сырого протеина" (общий азот × коэффициент 6,25). Н. Крылова с сотрудниками [1983] установили, что зависимость между содержанием общего азота и белка в биомассе дрожжей имеет линейный характер и описывается уравнением

$$\text{белок} = \text{общий азот} \times 5{,}18 + 2{,}64,$$ где 5,18 – коэффициент.

Однако в справочных таблицах по химическому составу сырья (в том числе и приведенных в разделе) это обстоятельство не учтено, и сырой протеин рассчитан путем умножения общего азота на коэффициент 6,25.

Как указано выше, отличительная особенность сырого протеина дрожжей – это присутствие значительных количеств небелковых азотистых соединений (до 25% по массе и 50% по отношению к сырому протеину). Большая часть его приходится на нуклеиновые кислоты, в частности РНК (до 15–20% сухого вещества). Известно, чем выше содержание общего азота, тем больше РНК в биомассе дрожжей. Диапазон их содержания в дрожжевых продуктах в среднем составляет 8–10%, в молодых культурах –до 15–20%, в бактериальной массе – 12–14% [Крылова и др., 1983; Остроумова, 1991; Судакова, 1998]. Это ограничивает применение дрожжей в кормлении сельскохозяйственных животных, т.к. они не обладают способностью к достаточно полному расщеплению единовременного поступающего с дрожжами большого количества РНК. Недоокисленные продукты распада РНК оказывают токсическое действие, в результате которого возникают разнообразные патологические изменения в организме животных и птиц. Рыбы, в отличие от наземных позвоночных, не накапливают продуктов нуклеинового обмена. Они способны расщеплять их до легкорастворимых соединений и либо утилизировать в процессах обмена, либо удалять из организма через жабры и почки в виде аммиачных солей и мочевины. Это объяснимо, если принять во внимание, что в естественной пище рыб – зоопланктоне и бентосе, содержание РНК также может достигать 5–10% [Остроумова, 2001].

Важное достоинство некоторых видов дрожжей (например, эприна) и микробной биомассы (гаприна)–наличие большого количества растворимых белков, имеющих в своем составе промежуточные продукты белкового синтеза: свободные аминокислоты, пептиды, низкомолекулярные полипептиды, что свойственно очень быстро размножающимся и быстрорастущим организмам (табл. 45 и 46).

Таблица 45. Количество и содержание растворимых белковых фракций в продуктах микробиосинтеза и муке животного происхождения, % [по Васильевой, Пономареву, Судаковой, 2000]

Вид продукта	Свободные аминокислоты, ММ 120 Да	Пептиды, ММ 200–900 Да	Полипептиды, ММ Да		Низкомолекулярный белок, ММ 10000–300000 Да	Растворимый белок	Общий белок
			1000–1300	1300–9000			
Паприн	0,2–1,5	2,1	15,1–16,0	0–5,6	15,4–25,3	35,0–46,2	63,4±2,0
Гиприн	1,6	0,1	5,2	–	15,1	22,0	40,5±1,2
Гаприн	0,5	1,2	17,2	2,3	15,8	37,0	70,2±2,6
Меприн	2,0	следы	12,3	1,2	17,7	33,2	65,4±2,1
Белотин	–	–	8,6	1,2	6,3	16,2	41,0±1,5
Биотрин	–	–	5,6	2,6	9,2	17,4	38,4±2,0
Биокорн	Следы	–	10,1	2,2	6,0	18,3	45,1±2,1
Эприн	1,8	–	14,6	–	20,1	36,5	61,4±2,1
Рыбная мука	1,1	–	5,2	–	9,4	15,7	60,0–70,0
Кровяная мука	2,5	2,8	3,6	3,4	45,6	57,7	75,0
Крилевая мука	0,4	–	–	0,8	11,6	12,8±1,1	39,0
Мелкий зоопланктон	0,1	3,7	33,3	3,4	2,6	36,5	50,0

Примечание. Здесь и далее ММ – молекулярная масса.

По этому признаку физико-химический состав их белков сближается с таковым белков мелких форм водных беспозвоночных, которые служат естественной пищей для молоди большинства рыб. Последняя особенность послужила основанием для использования продуктов микробиосинтеза в качестве основных

компонентов в стартовых кормах для некоторых видов рыб. Личинки этих рыб имеют очень короткий период развития и при переходе к активному питанию еще не имеют достаточно развитой пищеварительной системы. Присутствие в корме мелких фракций белка, не требующих глубокой ферментативной обработки и легко усвояемых в нативном виде, обеспечивает потребности личинок в структурном материале для роста еще до начала нормального функционирования пищеварительных желез и других дефинитивных органов [Остроумова и др., 1979; Остроумова, Дементьева, 1981; Остроумова, Ильина, 1981; Канидьев и др., 1983; Остроумова, 1983а, 2001].

Таблица 46. Фракционный состав растворимых белков комбикорма "Эквизо", его компонентов и артемии Artemia salina [по Остроумовой, 2001]

Вид продукта	Растворимый белок, % общего	Фракции, % растворимого белка		
		свободные аминокислоты, ММ140–240 Да	короткие пептиды, ММ менее 700 Да	полипептиды, ММ более 700 Да
Паприн	21	2,9	26	71
Ферментолизат паприна	43	4,4	38	58
Эквизо	28	3,2	45	52
Науплии артемии, живые	70	1–5	39–51	44–60

Другое достоинство ряда дрожжей, повышающее их ценность в питании ранней молоди рыб, – высокая протеазная активность, которая проявляется при pH 1,6 и 7,2, т.е. в среде, свойственной как безжелудочным рыбам, так и рыбам с желудочно-кишечным пищеварением. Она обусловлена присутствием в дрожжевых клетках глютатиона–трипептида, представляющего собой соединение глицина, цистеина и глютаминовой кислоты. Глютатион физиологически активен и оказывает влияние на активность многих ферментов, связанных с превращением белков, участвует в связывании кислорода гемоглобином [Чернышов, Панин, 2000].

К отрицательных свойствам ряда дрожжей относятся большая толщина и высокая прочность клеточных оболочек, делающие их содержимое плохо доступным для пищеварительных ферментов животных. Это тем более существенно, что в биомассе дрожжей они могут составлять 20–30% и более. Поэтому в целях повышения доступности для организма животных питательных веществ дрожжей используются специальные технологические приемы. В их число входит разрушение дрожжевых клеток дроблением, а так же их внутриклеточного содержимого посредством гидролиза. При разрушении клеточной оболочки состав белков и других веществ не изменяется.

При гидролизе под действием химических реагентов (кислот, щелочей) или вводимых ферментов происходит расщепление высокомолекулярных соединений до низкомолекулярных. В частности, трудноперевариимые полисахариды оболочек дрожжей подвергаются деструкции до легко доступных фрагментов. Ферментативный гидролиз позволяет получать в физиологически активной форме до 94% всех аминокислот. Биологически и экономически наиболее эффективен автолиз, который осуществляется с помощью собственных активированных протеолитических ферментов клетки [Попова и др.,1988].

По уровню витаминов группы В дрожжи значительно превосходят все виды кормового сырья, причем эти витамины усваиваются в животном организме значительно лучше, чем синтетические. Благодаря высокому содержанию белка и витаминов (табл. 47) некоторые виды кормовых дрожжей получили название белково–витаминных концентратов – БВК.

Таблица 47. Примерное содержание основных питательных веществ в дрожжевом сырье (на абсолютно-сухое вещество)

Показатели	Гиприн (1–5)	Паприн (1, 2, 4, 6, 7, 14)	Гаприн (1, 6)	Эприн (1, 2, 7)	Меприн (1, 5)	Биотрин (1, 9, 13)	Белотин (1, 8, 12)	Дрожжи Torula (10)	Кливеролакт (11)
Валовая энергия, МДж /100 г	1,7–2,0	1,9–2,1	2,1–2,3	1,8–1,9	1,9–2,0	1,6–2,0	1,9–2,0	1,99	1,74
Сырой протеин, %	36–47	44–63[1]	64–75[1]	46–61[1]	59–70[1]	36–41[1]	32–44[1]	51,1	39,1
Нуклеиновые кислоты,%	7,0[1]	5,7[6]–7,5[1]	7,5[1]–13,6	7,3[1]	7,6[1]	6,4[1]	5,1[1]	–	–
Сырой жир,%	1,2–6,5	4,9–8,4	5,9[1]–13,3	2,8–5,3[1]	4–6[1]	4–8	2,8[1]–4,0	1,3	7,0
Углеводы, %	34–46	10–39	7–11	13,5[1]–43[7]	9[1]–30	41[1]–52	42[1]–56	41	30
В том числе:									
трудногидролизуемые	–	–	–	22[7]		9,0[13]	4,7[12]	–	–
легкогидролизуемые	–	–	–	21[7]	–	–	–	–	–
Сырая зола, %	6,0–10	6,0–9,1	5,7[1]	6,0–6,6	7–8[1]	6[13]–7[1]–9	6,2[1]–8	6,7	23,9
В том числе, мг/100 г:									
Кальций	428[4]	460[6, 4]	500[6]	–	–	340[13]	200[12]	890	–
Фосфор	900[2]–1655[4]	890[4]–1330[2]	–	1800[7]	–	1220	1500	1830	2700
Магний	144[4]	140[6]	280[6]	–	–	–	–	140	–
Калий	2090[4]	2390[4]	–	–	–	193	300	2020	–
Натрий	11[4]	78	–	–	–	960	100	10	–
Железо	4,8[4]	0,8[4]	64[14]	–	–	365	30	1	–
Цинк	9,3[4]	5,0[4]–40[6]	27[6]	–	–	1,15	8,0	10,7	–
Марганец	3,1[4]	4,9[4]–22[6]	19[6]	–	–	17,0	10,0	1,4	–
Медь	1,3[4]	4[6]–4,9[4]	29[6]	–	–	11,0	1,2	1,44	–
Йод	0,04[4]	0,06[4]	0,05[14]	–	–	1,7	–	–	–
Кобальт	0,15[4]	0,20[4]	0,33[14]	–	–	–	–	–	–
Витамины, И.Е., мг/100 г:									
Д, И.Е.	111[4]	–	–	–	–	0,7[13]	–	–	–
Е, мг	–	0,56[4]	–	–	–	3,1	11,9[12]	–	–
B_1, мг	6,7[4]	1,24[4]	до 7,2[14]	–	–	2,5	1,0	6,6	–
B_2, мг	4,9[4]	8,3[4]	–	–	–	3,0	1,61	4,8	–
B_3, мг	7,5[4]	9,6[4]	15[14]	–	–	11,5	14,0	7,3	–
B_4, мг	320[4]	690[4]	340[14]	–	–	–	528	312	–
B_5, мг	55,6[4]	58,0[4]	–	–	–	42,2	43,6	–	–
B_6, мг	3,3[4]	1,7[4]	до 25[14]	–	–	0,3	4,2	3,2	–
B_7, мг	–	–	0,07[14]	–	–	0,04	0,5	0,12	–
B_c, мг	–	–	до 0,2[14]	–	–	1,3	2,5	–	

Примечание. Источники информации: 1 – Судакова, 1998; 2 – Трофимова, 1984; 3 – Удостоверение качества Канского биохимзавода, 1999; 4 – Нормы и рационы кормления..., 1985; 5 – Скляров и др., 1995; 6 – Остроумова и др., 1991; 7 – Щербина, Салькова, Гамыгин, 1996; 8 – Салькова, Першина, 1997; 9 – Щербина, Першина, Салькова, 1996а; 10 – Справочные сведения..., 1990; 11 – Щербина, Салькова, Гамыгин, Самойленко,1999; 12 – Дюкар, Вагичев, 1998; 13 – Егоров и др.., 1999; 14 – Остроумова, 2001.

Таблица 48. Содержание основных жирных кислот в общих липидах различных видов дрожжевых продуктов, % общей суммы жирных кислот

Жирные кислоты	Код	Эприн (1)	Гиприн (3)	Паприн (3)	Protibel (2)
Насыщенные		24,2	17,9	28,7	–
В том числе:					
Миристиновая	14:0	2,0	1,6	2,8	0,8
Пальмитиновая	16:0	14,7	11,2	13,7	18,7
Стеариновая	18:0	3,4	5,1	12,3	1,1
Мононенасыщенные		37,1	26,7	27,6	–
В том числе:					
Пальмитоолеиновая	16:1n-7	7,1	7,0	11,7	9,6
Гептадеканолевая	17:1n-7	2,5	0	0	0
Олеиновая	18:1n-9	20,3	18,4	15,0	40,5
Эйкозамоноеновая	20:1n-9	3,4	–	–	0,2
Полиненасыщенные		36,6	55,4	43,6	–
В том числе:					
Гексадекадиеновая	16:2n-4	0	3,9	8,4	–
Гексадекатриеновая	16:3n-4	0	6,3	20,9	–
Линолевая	18:2n-6	23,4	34,2	10,8	18,0
Линоленовая	18:3n-3	3,3	11,0	3,5	2,9
Арахидоновая	20:4n-6	0,5	0	0	–
Эйкозапентаеновая	20:5n-3	5,4	0	0	–
Докозагексаеновая	22:6n-3	3,3	0	0	–

Примечание. Источники: 1–Щербина, Салькова (первая публикация); 2 – Radunz Neto, 1994; 3 – Сергеева, 1989.

В состав липидов дрожжей входят фосфолипиды, триглицериды, стерины, воска и жирные кислоты. Соотношение поли-, мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот по отдельным видам дрожжей варьирует в широких пределах (табл. 48). Отличительная особенность – присутствие жирных кислот с нечетным числом углеродных атомов, которые, по некоторым сведениям, оказывают неблагоприятное воздействие на животных. Однако позднее было показано, что в малых количествах они присутствуют в липидах водных беспозвоночных и рыб [Касаткина, 1988; Сергеева, 1989; Radunz, Neto, 1994].

Изучение у рыб метаболизма выявило их позитивную роль в регуляции содержания фосфолипидов и холестерина в плазме крови, а также в мембранных структурах клеток [Аствацатурьян, 1989].

Селекционированы специальные штаммы дрожжей (например, Hansenula polymorpha), которые продуцируют в большом количестве липиды, в частности незаменимую для тепловодных рыб арахидоновую кислоту [Дедюхина и др., 1980].

Для производства микробиологической продукции в основном используют углеводное сырье, которое обычно не применяется в кормлении животных (отходы пищевого и деревообрабатывающих производств, бумажной промышленности) и углеводороды– отходы нефте- и газопереработки (н–парафины нефти, газ метан и др.).

Получаемые белковые продукты имеют название, соответствующее виду субстратов, на которых ведется культивация микроорганизмов. К примеру: гидролизные дрожжи–гиприн, алкановые дрожжи–паприн, этанольные дрожжи–эприн, метанольные дрожжи–меприн, метанокислящие бактерии–гаприн и т.д.

В упрощенном виде технология кормовых дрожжей согласно Н. Калунянцу и его соавторам [1980], включает следующие процессы: 1) подготовка субстрата

культивирования; 2) приготовление оптимизирующих добавок (обычно аммиачной воды и растворов солей сернокислого аммония, диаммонийфосфата, суперфосфата, сернокислого и хлористого магния и калия, углекислого кальция, ортофосфорной кислоты и др.); 3) подготовка питательной среды; 4) культивирование посевного материала; 5) выращивание биомассы дрожжей в "ферментерах" при определенной температуре, pH и концентрации газов; 6) отделение биомассы от культурального материала путем одно- – двукратного сепарирования, промывка ее водой; 7) концентрирование и плазмолиз (автолиз) дрожжей в многоступенчатой вакуумвыпаривательной установке; 8) сушка в распылительных сушилках; 9) расфасовка и упаковка готового продукта.

В зависимости от вида дрожжей они могут вводиться в продукционные и стартовые комбикорма для различных видов рыб в количествах 2–62% для хищных рыб и 5–56% – для всеядных и растительноядных [Jauncey, 1995].

Отрицательным свойством дрожжевых продуктов может быть наличие в них живых клеток продуцента, которые вызывают у рыб различные микозы. В частности, кандидамикоз характеризуется не только поражением слизистых оболочек пищеварительного тракта, но и жабр с образованием на них гифов грибов. Болезнь также возникает при применении плохо хранившихся комбикормов и поражает прежде всего ослабленных рыб.

В настоящее время в нашей стране прекращен выпуск продуктов микробиосинтеза, обладающих наиболее высокой питательностью для рыб (эприна, паприна, гаприна, их ферментолизатов). Это обстоятельство наряду с дефицитом высококачественного белкового сырья резко осложняет производство полноценных комбикормов, особенно для индустриальных хозяйств, и создает большие проблемы при разработке и выпуске эффективных стартовых комбикормов для личинок карповых, сиговых и осетровых рыб.

3.2.1. Гидролизные дрожжи (гиприн)

В качестве продуцента наиболее часто используют штамм Candida tropicalis, который культивируют при 34–36 °С и pH среды 5,0–5,5. Дрожжи выращивают на таких отходах пищевой промышленности, как зерновая и картофельная барда, молочная сыворотка, щелоки после известковой сепарации мелассы на сахарных заводах и варки целлюлозы. Применяют также гидролизаты из непищевого растительного сырья (стержни початков кукурузы, подсолнечную лузгу, хлопковую шелуху и т.д.).

Для оптимизации химического состава субстратов культивирования к ним добавляют в качестве легкодоступного для микроорганизмов источника азота аммиачную воду, сульфат аммония, мочевину, диаммоний фосфат, а также фосфорные соли калия и другие соединения.

Химический состав гидролизных дрожжей зависит от вида субстрата, качественного и количественного состава добавок и технологии культивирования. В абсолютно сухом веществе биомассы дрожжей содержание сырого протеина может составлять 36–47% (том числе около 7% нуклеиновых кислот), липидов – 1–7%, золы – 6–10% (см. табл. 47). Дрожжи богаты и витаминами, особенно B_1, B_3, B_5 и B_6. В составе липидов преобладают жизненноважные для рыб полиненасыщенные жирные кислоты (55% общей суммы), в частности линолевая–34%, и, что особенно важно, – линоленовая – 11% (см. табл. 48). Специальные эксперименты по испытанию одного вида гиприна в монодиете (табл. 49) показали, что переваримость его сухого вещества у карпа от 50 до 60%, у форели – 72% [Трофимова, 1984; Щербина и др., 1985]. Подобных сведений по другим видам рыб не обнаружено. В отношении сырого протеина данных больше. У карпа, форели и осетровых переваримость находится в диапазоне 70–90% с максимумом для форели.

Доступность незаменимых аминокислот у форели также выше (76–95%), чем у карпа (56–89%). Для форели лимитирующей аминокислотой является метионин

(45% потребности); у карпа, кроме метионина (скор 48%), – треонин (скор 42%) и гистидин (скор 66%). Для молоди осетровых (табл. 50) ощущается только недостаток метионина (скор 74%), остальные аминокислоты превышают их потребности (скоры 101–166%) [Абросимова, 1997].

Таблица 49. Коэффициенты видимой переваримости основных питательных веществ и энергии дрожжевого сырья у различных рыб, % съеденных

Вид сырья, вид рыб	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы	Сырая зола	Фосфор	Энергия	Переваримая энергия, МДж/100 г
Гидролизные дрожжи (гиприн)								
Карп (1; 2)	48–63	68–87	77–79	41–43	21Э–27Э	62–74	58–72	0,69–0,86
Форель (2)	72	90	73	9	53	–	–	–
Осетровые (9)	–	83	–	–	–	–	–	–
Алкановые дрожжи (паприн)								
Карп (1; 2; 3)	77–80	88–90	67–78	65–82	33–54	60–85	80–85	1,60–1,70
Форель (2)	65	88	57	12	31	–	–	–
Осетр (2)	74	93	52	39	24	–	–	–
Бестер (2)	73	92	67	45	34	–	–	–
Ферментолизат алкановых дрожжей								
Осетр (2)	70	96	93	Н	50	–	–	–
Бестер (2)	63	92	86	Н	32	–	–	–
Этанольные дрожжи (эприн)								
Карп (1; 2; 3)	57; 69/67	83; 80/81	25; 75/64	35; 61/57	27; 48/87	71; 53/63	63; 75/82	1,2;1,4/1,4
Осетр (2)	65	95	90	Н	47	–	–	–
Бестер (2)	56	95	86	Н	16	–	-	–
Пивные дрожжи сухие (Torula)								
Форель (4; 5)	76	91;85	–	–	–	–	77	1,39–1,60
Дрожжи кливеролакт (Kluyveromyces)								
Карп (6)	71	88	90	68	38	74	82	1,43
Белотин								
Карп (7)	50	76	71	30	36	40	50	0,96
Биотрин								
Карп (8)	24	67	75	Н5	13	29	32	0,62
Липрин								
Карп (3)	34/52	63/75	39/65	39/49	49Э/15	–	43/59	0,82/1,05
Грибы H. abiefinus, выращенные на различных средах								
Карп (10)	48–54	66–70	79–87	44–51	42Э–52Э	2–83Э	–	–

Примечания: 1. Перед чертой – гранулированные, за чертой – экструдированные; Э – экскреция эндогенных элементов; Н – новообразование низкомолекулярных поли- и олигосахаридов в результате ферментативного гидролиза различных групп углеводов.

2. Источники информации: 1 – Трофимова, 1984; 2 – Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985; 3 – Щербина, Гамыгин, Салькова,1996; 4 – Cho et al., 1982; 5 – Kaushik, 1990; 6 – Щербина, Салькова, Гамыгин, Самойленко, 1999; 7 – Салькова, Першина, 1997; 8 – Щербина, Салькова, Першина, 1996; 9 – Абросимова, 1997; 10 – Щербина, Салькова (первая публикация).

Таблица 50. Содержание (% белка), доступность карпу (% поступивших с кормом) и скоры (% потребности) доступных незаменимых аминокислот кормовых дрожжей

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенилаланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин	Сырой протеин
						Карп (1)					
Гидролизные дрожжи (гиприн, 1985), гранулированные											
Содержание	5,9	1,8	6,4	2,9	1,5	4,3	5,4	6,7	10,9	3,3	46,3
Доступность	78	88	88	56	71	82	87	83	89	84	
Скор	70	66	97	42	48	77	102	150	156	87	
						Форель (4)					
Содержание	7,8	2,5	4,9	5,0	1,5	6,2	4,9	5,5	7,9	3,9	
Доступность	95	90	95	88	88	90	76	92	93	92	
Скор	121	121	79	126	45	180	124	211	81	92	
						Молодь осетра (5)					
Скор	146	101	141	112	74	166	110	153	153	–	
						Карп (2)					
Углеводородные дрожжи (паприн, 1985), гранулированные											
Содержание	8,8	1,9	5,2	3,8	1,6	5,6	3,8	4,1	8,0	3,1	50,4
Доступность	95	98	97	80	92	91	95	93	93	95	
Скор	127	78	87	78	67	111	78	103	120	92	
						Форель (4)					
Содержание	7,7	2,6	5,3	5,5	1,6	6,4	5,2	5,6	8,3	4,4	
Доступность	79	80	87	77	77	77	80	82	80	83	
Скор	100	130	78	121	42	160	139	191	73	94	
						Карп (1)					
Этанольные дрожжи (эприн) гранулированные, 1986											
Содержание	7,2	1,9	6,2	5,3	1,0	6,0	5,0	5,7	7,5	5,8	50,3
Доступность	94	89	92	84	89	85	89	88	88	91	
Скор	103	70	98	114	40	111	97	136	106	165	
						Карп (3)					
Эприн гранулированный, 1995											
Содержание	7,9	3,9	6,5	5,9	2,2	5,9	4,9	5,2	8,4	3,2	46,3
Доступность	92	88	92	84	90	88	89	90	90	83	
Скор	110	143	103	127	90	113	95	126	122	83	
						Карп (3)					
Эприн экструдированный, 1995											
Содержание	7,1	3,2	6,6	5,7	2,0	5,6	5,4	4,6	7,9	3,8	46,5
Доступность	87	83	90	84	86	86	87	87	87	83	
Скор	94	111	102	123	78	105	102	108	111	99	
						Молодь осетра (5)					
Скор	–	125	115	118	74	142	106	129	116	–	50,3

Примечания: 1. При недостатке заменимого тирозина утилизируется незаменимый фенилаланин.

2. Источники информации: 1 – Щербина, Касаткина, Киселев, 1992; 2 – Щербина, Трофимова и др., 1986; 3 – Щербина, Салькова, Гамыгин, 1996а; 4 – Сергеева, 1989; 5 – Абросимова, 1997.

Результаты изучения роли гиприна в питательности форелевого гранулированного комбикорма, состоящего из обычных компонентов, позволили выявить специфические свойства этого вида сырья [Щербина, Трямкина, 1974; Трямкина, 1977].

В серии специальных экспериментов, в которых 10% гиприна замещалось на инертную окись хрома, была обнаружена оригинальная реакция организма рыб. Переваримость сырого протеина оставшихся компонентов возросла на 30%, легко- и трудногидролизуемых углеводов – на 10 и 30%. На этом основании был сделан вывод, что гиприн в исследованном количестве способен тормозить ход пищеварительных процессов у форели. Одновременно наблюдали снижение скорости роста рыб и увеличение затрат корма на прирост массы в 2 раза. В теле форели отмечено резкое повышение содержания белка и жира при сокращении воды.

В свете этих данных физиологическое влияние дозы, равной 10% гиприна, следует рассматривать в качестве ростостимулирующего агента, приводящего к "разжижению" прироста рыб за счет накопления влаги в организме. Поэтому при разработке норм включения гиприна в рецептуру комбикормов всегда следует учитывать эту его особенность и условия выращивания рыб. Известно, что при пониженных температурах воды в теле рыб накапливается значительно больше влаги, чем при высоких [Pao, 1964; Щербина, 1984а; Shulman, Love, 1999]. Поэтому в условиях тепловодных хозяйств дозы гиприна в комбикормах могут быть значительно выше, чем в условиях холодноводных.

В комбикорма для основных объектов аквакультуры гиприн включают в количестве от 2 до 20%. В продукционных кормах для молоди прудовых карповых рыб его содержание обычно составляет 2–7%, в среднем 4%, в условиях тепловодных хозяйств как для молоди, так и для товарных рыб – 10–20%. В корма для форели, выращиваемой в условиях холодноводных хозяйств, его обычно вводят в количестве 3–8%, в условиях тепловодных – 6–15%; для лососей – 8–10%, сигов – 10%, осетров – 10–14%.

Следует отметить, что по питательным свойствам в кормлении рыб гиприн значительно уступает ряду других продуктов микробиосинтеза (паприну, эприну, гаприну), о чем будет сказано ниже.

3.2.2. Углеводородные дрожжи (паприн, БВК)

Субстрат для производства этого вида дрожжей – как правило, жидкие очищенные парафины нормального строения (н–парафины или алканы). Наилучшим сырьем являются низкомолекулярные парафины с числом углеродных атомов 11–14. Их выделяют в жидком виде из соответствующих фракций нефти на нефтеперерабатывающих заводах и затем подвергают очистке. Значительно худший эффект дает использование высокомолекулярных парафинов [Калунянц и др., 1980]. Важное достоинство н–парафинов как субстрата культивирования состоит в том, что с единицы их массы можно получить в 2 раза больше продукции дрожжей, чем с того же количества углеводного сырья.

На н–парафинах способны размножаться и синтезировать белок не только дрожжи, но и бактерии. Однако в промышленном производстве лучшими продуцентами оказались дрожжи родов Candida и Torulopsis .

Согласно обзору К. Калунянца с соавторами [1980], технология производства алкановых дрожжей аналогична процессу на углеводном сырье и включает те же стадии: приготовление питательной среды, выращивание посевного материала и товарных дрожжей, их выделение, промывка и сушка. При непрерывном процессе культивирования после выделения дрожжей питательная среда состоит из 80–85% культуральной жидкости и 15–20% воды. Концентрация н–парафинов поддерживается на уровне 1,5–2,0%. В качестве источника азота дополнительно вводится аммиачная вода (20–25% аммиака) и поддерживаются необходимые концентрации сульфата аммония и микроэлементов ($FeCl_3$, $MnSO_4$, $CuSO_4$, KI, Na_2MoO_4).

Температура среды, при которой происходит максимальное накапливание биомассы Rhodotorula составляет 30–32°С, для рода Candida – 28–34°С, в частности, для C.guilliermondii – 28–30°С, C. tropicalis – 28–34°С. Оптимум pH среды – 5–6. Однако для предотвращения развития патогенных бактерий промышленное культивирование ведут в более кислой среде.

По химическому составу, в частности белка, эти дрожжи сходны с естественной пищей молоди рыб (зоопланктоном и бентосом). Согласно литературным источникам, различные партии алкановых дрожжей (см. табл. 47) в расчете на абсолютно сухое вещество содержат 44–63% сырого протеина, в том числе 6–8% нуклеиновых кислот, 5–8% жира, от 10 до 39% углеводов, 6–9% золы с богатым набором микроэлементов и витаминов, особенно B_2, B_3, B_4, B_5. Помимо этого, в их составе может содержаться до 2,5% остаточных н–парафинов, представляющих собой субстрат культивирования. Последнее обстоятельство ранее вызывало опасения животноводов и медиков, и о физиологическом действии остаточных н–парафинов велись длительные дискуссии. Однако, согласно данным, приведенным в обзоре И. Остроумовой [1991], в применяемых дозах они являются биогенными элементами и не оказывают токсического влияния. Известна их позитивная роль в регуляции перекисного окисления липидов, стабилизации клеточных мембран и повышении их антиоксидантной активности. Было выяснено, что в малых количествах н–парафины присутствуют в тканях животных и пищевых продуктах.

Паприн богат незаменимыми аминокислотами (см. табл. 50). В сумме они составляют 43–48% от белка. Особенностью жирнокислотного состава (см. табл. 48) является более низкий, чем у гиприна, уровень полиеновых кислот (44 против 55%), причем в их составе преобладает гексадекатриеновая кислота (16:3 n-4), редко встречающаяся в других видах кормового сырья. Содержание незаменимой для рыб линоленовой кислоты всего 3,5%, линолевой – 11%, арахидоновая кислота–отсутствует. Кроме того, имеются жирные кислоты с нечетным числом углеродных атомов, физиологическая роль которых в метаболизме животных обсуждалась выше. Как было показано в обзоре И. Остроумовой [1991], опасения по поводу их вредного действия для организма рыб в невысоких концентрациях не обоснованны.

Результаты медико-биологической оценки паприна как кормового средства показали отсутствие токсического, канцерогенного, коканцерогенного, лейкозогенного, мутагенного, тератогенного, эмбриотоксического и гонадотоксического действия [Тутельян, 1989].

Многолетние исследования ГосНИОРХ позволили разработать рыбоводно-физиологическое обоснование для применения в кормлении рыб паприна и его ферментолизата в качестве основных источников низкомолекулярных растворимых пептидов и белков. Впервые были созданы высокоэффективные стартовые комбикорма для личинок и ранней молоди карпа [Остроумова и др., 1979, 1980]. В составе стартового корма, получившего название "Эквизо" (эквивалент зоопланктона), подавляющую часть занимают паприн и его ферментолизат.

"Эквизо" с успехом использовался и для кормления личинок растительноядных рыб, канального сома, осетровых, тиляпии. Комбикорма для личинок и молоди сиговых (ЛС-81 и МС-84), имевшие в своем составе паприн, охотно потребляли рыбы с различным типом питания (планктофаги, бентофаги, хищники, в том числе пелядь, муксун, чир, сиги, нельма). При выращивании посадочного материала и товарного карпа в тепловодном рыбоводстве в рецептуры шифров 12–80, 16–80, 16–82 паприн вводили в количестве 10–20%, в рецептуры для форели – 10% [Князева, 1991; Остроумова, 2001 и др.].

Питательные свойства паприна в кормлении основных объектов аквакультуры были изучены коллективами ВНИИПРХ, КТИРПиХ и АзНИИРХ. Установлено, что при содержании на монодиете карповые, лососевые и осетровые рыбы способны извлекать из этих дрожжей около 90% сырого протеина (см. табл. 49) Доступность незаменимых аминокислот у карпа колебалась в диапазоне 80–97%, у форели – 77–87% (см. табл. 50). Лимитирующей кислотой является метионин.

У форели, согласно скорам, он покрывает 42% потребности, у карпа – 67%. Количество остальных незаменимых аминокислот либо приближается к величине потребности, либо превышает ее.

Значительно хуже, чем сырой протеин, перевариваются липиды паприна – на 52–78% (см. табл. 49), что обусловлено особенностями их состава. Его углеводы хорошо доступны для карпа (65–82%), для форели – очень плохо (12%), несколько лучше – для осетровых (около 40%). Из зольных элементов паприна рыбы получают только третью часть. Однако карп может извлекать из паприна 60–85% фосфора. По остальным видам рыб подобные сведения не обнаружены.

По результатам рыбоводных и физиологических исследований во ВНИИПРХе была создана серия высокоэффективных полнорационных комбикормов для молоди и товарного карпа, выращиваемого в прудах (рецепты ВБС-РЖ-81, или К-116, СБС-РЖ, ПКС-86, МБЯ), которые имеют в своем составе 8–4% паприна, а рецепт ВБС-РЖ-85, не содержащий рыбной муки, – 16%. В КрасНИИРХе на основе паприна разработана эффективная рецептура К-3М для выращивания товарных карпов в садках тепловодных хозяйств.

В специальной серии экспериментов была показана зависимость питательной ценности паприна от технологии его изготовления. В частности, установлено, что сушка дрожжевой массы на распылительных установках дает значительно более качественный продукт, чем при прямом нагревании [Дума, 1987а].

Ферментолизат БВК представляет собой продукт гидролиза алкановых дрожжей под действием комплекса ферментных препаратов. В этом комплексе основное место занимает протосубтилин Г-3х. При определенной экспозиции, помимо разрушения клеточных оболочек дрожжей, значительная часть белка расщепляется до пептидов и переходит в водорастворимое состояние; резко возрастает количество низко- и высокомолекулярных пептидов и аминокислот. Эти промежуточные продукты распада белка являются основой стартовых комбикормов для личинок рыб с коротким циклом развития и слабо сформированной пищеварительной системой.

По И.Д. Ильиной [1986], оптимальное соотношение белковых фракций в стартовых кормах для личинок карпа имеет следующий вид: водорастворимая фракция составляет 36–50% от общего количества белка. В этой фракции свободные аминокислоты должны составлять 3–6%, низкомолекулярные пептиды (ММ 150–700 Да) – 44–47%; высокомолекулярные пептиды (около 700 Да) – 53–56%. Оптимальное соотношение низко- и высокомолекулярных фракций 1:1. У личинок карпа эти фрагменты белка достаточно легко усваиваются еще неразвитой на начальных этапах постэмбриогенеза пищеварительной системой и способствуют нормальному формированию и функционированию поджелудочной железы. В дальнейшем, при достижении личинками карпа массы 60 мг, потребность в этих фракциях снижается и количество ферментолизата в комбикормах сокращают, например с 35% в "Эквизо-1" до 15% в "Эквизо-2". После достижения молодью массы 1 г острая необходимость в ферментолизате отпадает [Остроумова и др., 1980].

3.2.3. Этанольные дрожжи (эприн)

Эприн представляет собой культуру непатогенных штаммов рода Candida, селекционированных во ВНИИсинтезбелок и выращенных на синтетическом этаноле. Процесс его производства–непрерывный и экологически чистый. Главным оборудованием, как и при выращивании других микроорганизмов, является ферментер, в который загружают водный раствор минеральных веществ, этиловый спирт, а также продуцентную культуру Candida utilis в смеси с другими штаммами. Помимо дрожжей на этаноле возможно промышленное выращивание бактериальных культур. При их культивировании получают продукт с высоким содержанием белка (до 86%). В качестве продуцента обычно используют бактерии рода Pseudomonas [Барта и др., 1984].

По химическому составу этанольные дрожжи относятся к высокопитательным продуктам (см. табл. 47). В расчете на абсолютно сухое вещество содержание сы-

рого протеина в эприне колеблется в диапазоне 46–61%. Часть массы протеина приходится на долю нуклеиновых кислот (7%). Преимущество перед паприном – полное отсутствие остаточных углеводородов. Известный предел содержания жира – 2,5–5,5%. По жирнокислотному составу липидов эприн (см. табл. 48) отличается от паприна более высоким уровнем мононенасыщенных кислот (в основном за счет олеиновой) и более низким – полиненасыщенных. Однако относительное содержание незаменимой линолевой кислоты (18:2) выше, чем в липидах паприна, в 2 раза, что благоприятно для тепловодных рыб, в частности карповых. Известно, что линолевая кислота, выполняя свою функцию, служит также субстратом для синтеза другой жизненноважной кислоты – арахидоновой (20:4 n-6). Последняя в больших количествах (7–10%) присутствует в естественной пище и резко дефицитна в комбикормовом сырье. Уровень линоленовой кислоты (18:3 n-3), важной для жизнедеятельности холодноводных рыб, средний – 3,3%. Эприн, как и все дрожжи, богат витаминами группы В и микроэлементами. В нем очень много фосфора. К достоинствам эприна относится его слабо выраженная репеллентность, что способствует относительно быстрой адаптации личинок карповых рыб к стартовым комбикормам, содержащим его. В этом плане эприн особенно выигрывает по сравнению с паприном, и особенно гаприном [Востроушкин, 1998].

Комплексное изучение питательных свойств эприна было выполнено во ВНИИПРХ и АзНИИРХ. Выяснено, что при выращивании карпов и осетровых рыб на монодиете эприна переваримость сухого вещества у молоди находится в диапазоне 56–70% (см. табл. 49). Наиболее удобоваримой частью является сырой протеин (80–95%), причем у молоди осетра показатель его переваримости выше, чем у карпа. Липиды значительно лучше переваривались у осетровых (около 90% против 25–75%). Карп оказался способным переваривать углеводы на 35–61%. У бестера этот процесс шел значительно хуже. Кроме того, переваримость маскировалась новообразованием в кишечнике декстринов и олигосахаридов, что обычно происходит в результате ферментативного гидролиза полисахаридов. Из общего количества зольных элементов карп извлекал до 87% (что наблюдается крайне редко), осетр в 2 раза меньше, бестер – меньше в 5,5 раза.

Сырой протеин эприна (см. табл. 50) богат незаменимыми аминокислотами (46–51% от белка). Доступность этих соединений для карпа очень высока – 83–94%. Согласно скорам (степени соответствия количества доступных аминокислот потребностям рыб), в одной из серий наших экспериментов лимитирующей кислотой был метионин (скор 40%). Однако, вполне вероятно (о чем свидетельствуют наши более поздние опыты 1995 г., в которых скор метионина составил 78–90%), это обусловлено использованием различных штаммов дрожжей при производстве эприна [Щербина, Киселев, Касаткина, 1992]. Аналогичные сведения по величине скора метионина для молоди осетровых (74%) приведены Н. Абросимовой [1997]. Количество других незаменимых аминокислот в доступной форме превышало потребности рыб, что можно считать благоприятным условием для сочетания эприна с различными видами сырья.

Одна из важных и полезных особенностей химического состава эприна–низкое содержание ингибиторов протеиназ, препятствующих расщеплению белка. Как указывалось выше, эти ингибиторы в больших количествах присутствуют во многих компонентах комбикормов (бобовых, соевом и ряде других шротов, злаковых), снижая их белковую питательность.

К другим достоинствам белковой части этанольных дрожжей относится их собственная очень высокая протеолитическая активность. По данным В. Хаблюка [1984], она превышает активность ферментов собственных протеаз рыбной муки в 20 раз, паприна – в 4 раза, пшеничных отрубей – в 80 раз. Именно эти свойства эприна, как можно было видеть, обеспечивают очень высокую доступность его белков для рыб.

Кроме того, присутствие в комбикорме протеаз эприна повышает общую протеолитическую активность пищеварительной системы рыб. Процесс ферментативного гидролиза распространяется не только на собственные белки эприна, но

и на белки других компонентов, доводя их расщепление в среде кишечника до мелких фракций, которые могут усваиваться даже личинками с недоразвитой или слабо развитой пищеварительной системой. Это очень важно при создании стартовых комбикормов для личинок таких рыб, как карповые, осетровые, сиговые и другие. С описанными особенностями эприна во многом связана высокая эффективность стартовых комбикормов для карпа серии РК-С, содержащих 50% эприна [Канидьев и др., 1983; Гамыгин и др., 1987]. В этом плане интересно отметить, что описанный выше стартовый комбикорм "Эквизо", основанный на паприне, эффективен только при наличии значительных количеств его ферментолизата.

Подобный вклад ферментов естественных объектов питания в их автолиз в процессе пищеварения рыб был доказан экспериментально еще в первой половине прошлого века чешским ученым А. Янчарджиком [1964]. В настоящее время количественная сторона этого процесса активно изучается [Кузьмина и др., 1999].

В продукционные корма для различных видов рыб, особенно для молоди, эприн благодаря высоким питательным свойствам включается в количествах 10–15% и более. Ограничения в основном зависят от конъюнктуры рынка и цен на эприн, а также наличия других компонентов, необходимых для балансирования состава комбикорма в соответствии с видовыми потребностями рыб.

3.2.4. Микробная биомасса (гаприн)

Гаприн представляет собой биомассу метанокисляющих бактерий Mithylococcus capsulatus. Этим бактериям свойственна очень высокая интенсивность размножения и синтеза белка, что сделало привлекательным их использование для производства кормового белка.

Выращивание этих бактерий ведется на углеводородах природного газа. В питательную среду вводятся неорганические азотистые и минеральные соли. В связи с особенностями субстрата культивирования производство гаприна перспективно там, где есть богатые залежи метана. Однако, существенная особенность и недостаток организации его культивирования – низкая растворимость метана в воде. Кроме того, в сочетании с воздухом он образует взрывоопасную смесь, поэтому конструкция промышленных ферментеров с рециркуляцией газовой фазы и подогревом весьма сложна и дорого стоит [Барта и др. 1984].

В то же время комплексные исследования, проведенные в большом числе сельскохозяйственных и рыбохозяйственных институтов, и испытания в промышленности позволили доказать высокую биологическую ценность гаприна как источника белков, витаминов и других питательных веществ [Остроумова и др. 1991].

Гаприн в своем составе (см. табл. 47) имеет 64–75% азотсодержащих веществ. Как масса бактерий, обладающих высокой биосинтетической активностью, гаприн содержит больше нуклеиновых кислот, чем дрожжи (7,5–13,6%). Состав аминокислот гаприна близок к потребностям рыб, но, как и у всех продуктов микробиосинтеза, из-за различий в технологии производства достаточно вариабелен. Отличительная особенность аминокислотного состава гаприна – высокое содержание ароматических кислот–фенилаланина и тирозина, а также метионина (табл. 51). Это одно из очень существенных преимуществ гаприна, т.к. недостаток этих аминокислот постоянно ощущается в комбикормах для лососей и многих других видов рыб. Следует отметить, что фракционный состав белков гаприна благоприятен для включения его в стартовые корма, так как содержит около 37% растворимого белка (см. табл. 45). При этом на долю наиболее важной для личинок фракции молекулярной массой 1000–1300 Да приходится около половины [Судакова, 1998].

Общее содержание липидов колеблется в диапазоне 6–13%. Особенность их жирнокислотного состава – очень высокий уровень насыщенных кислот (65%) и полное отсутствие кислот линолевого (п-6) и линоленового (п-3) рядов. На долю мононенасыщенных кислот приходится 29% [Остроумова и др. 1991].

Таблица 51. Аминокислотный состав гаприна, % к сумме учтенных аминокислот (пересчет данных И.Н. Остроумовой и др., 1991)

Аминокислоты	Годы отбора образцов	
	1986	1987
Незаменимые		
Лизин	5,6	6,8
Гистидин	2,1	3,0
Аргинин	8,2	7,9
Треонин	7,4	4,5
Валин	6,2	5,9
Метионин	2,6	3,3
Изолейцин	4,4	4,6
Лейцин	9,4	8,9
Фенилаланин	5,7	6,5
Заменимые		
Глютаминовая кислота	13,8	12,0
Аспарагиновая кислота	11,1	9,4
Серин	3,3	3,8
Глицин	4,5	5,4
α-ланин	7,6	7,4
Пролин	3,7	4,9
Тирозин	4,1	5,7

Общее количество зольных элементов около 6%. По сравнению с другими продуктами микробиосинтеза гаприн богат магнием.

Углеводы составляют около 10% и в основном представлены клеточными оболочками. По сравнению с оболочками дрожжей (толщина 150–280 нм), состоящих в основном из жестких глюканов и маннанов, главным структурным элементом бактериальных клеток гаприна, служат гликопептиды, придающие им большую легкость, эластичность и малую толщину (10–50 нм). Это предполагает достаточно быстрое проникновение пищеварительных ферментов внутрь клетки и хорошее переваривание питательных веществ гаприна в организме животных.

В специальных опытах с форелью, которую выращивали на комбикорме с 50% гаприна, проведены определения переваримости [Абрамова, Афанасьева, 1989]. Было показано, что его протеин переваривается на 83%, доступность аминокислот составляет 80–93%, липидов–58%, нуклеиновых кислот–89%, а общей суммы питательных веществ–61%.

Согласно заключению ГосНИОРХ [Остроумова и др., 1991], гаприн оказался более питательным кормовым компонентом, чем паприн для карповых, лососевых, сиговых рыб, а также дальневосточных лососей. Его рекомендовано включать в стартовые комбикорма (для замещения паприна), а также в продукционные корма для сеголеток (до 30%). При выращивании карпов в условиях тепловодных хозяйств в комбикорме для годовиков массой от 50 до 200 г его оптимальное количество может составлять 20%, для рыб массой от 200 г до товарной навески – 13%. В комбикорма для молоди форели гаприн можно вводить в количестве 10–20%.

3.2.5. Кливеролакт

Кливеролакт – новый перспективный компонент комбикормов для рыб. Он представляет собой дрожжевой концентрат из лактозоутилизирующих штаммов рода Kluyveromyces (близкородственного к пекарским дрожжам). Выращивается на продуктах переработки молочной сыворотки. Далее дрожжевая масса подвергается автолизу и сушится на распылительной или барабанной установке. Концентрат дрожжей и продукты их жизнедеятельности безвредны для животных и

имеют высокое содержание аминокислот и витаминов. К особенностям их химических свойств (см. табл. 47) относится высокое содержание зольных элементов (20–24%) и липидов (7–8%). По–видимому, это связано с богатством субстрата культивирования–молочной сыворотки–минеральными элементами и жирами. Содержание сырого протеина–около 40%.

В экспериментах на карпах [Щербина, Салькова, Гамыгин, Самойленко, 1999], которых выращивали на монодиете из кливеролакта и на комбикормах с его включением, был установлен их аттрактивный эффект. Рыбы поедали корма с кливеролактом в 2 раза охотнее, чем с гидролизными дрожжами. Скорость роста рыб на монодиете из кливеролакта и комбикормов с его включением была выше, чем в вариантах с гидролизными дрожжами, на 33–25% при меньших на 15–8% затратах корма.

Общая переваримость кливеролакта у карпов (см. табл. 49) выше, чем гидролизных дрожжей на 13% за счет лучшего расщепления и всасывания углеводов (на 58%), липидов (на 17%) и зольных элементов (более чем в 2 раза). Активный рост был обусловлен лучшей трансформацией белков корма в организме рыб, а также более интенсивным ростом клеток всех тканей (гиперплазией). Как правило, гиперплазия сопровождается растяжением клеток и накоплением в них воды. В случае с кливеролактом как в монодиете, так и в составе комбикорма, концентрация воды в приросте массы карпов была выше на 10%, чем у хуже растущих рыб из вариантов с гидролизными дрожжами. Это явление относится к обычному ростостимулирующему эффекту.

Замена в комбикормах 8% гидролизных дрожжей эквивалентным количеством кливеролакта обеспечивает более высокую (на 11%) скорость роста рыб при меньших затратах корма (на 8%), а в монодиете – соответственно в 2,8 раза и на 15%.

3.2.6. Белотин

Белотин – относительно новый белковый компонент комбикормов, появившийся в 90-х годах XX века. Он представляет собой смесь непатогенных штаммов микроорганизмов (Torula famata) и ферментолизата зернопродуктов [Дюкар, Вагичев, 1998]. В качестве субстратов используются отруби, молотое зерно, меласса, жидкие очищенные парафины. К ним добавляется аммиачная вода и обычные солевые добавки. Технология производства белотина включает: нагрев сырья (4 ч при 70 °С), его ферментативный гидролиз амилосубтилином (10 ч при 36 °С), микробиологический синтез биомассы дрожжей, термообработку, высушивание, гранулирование. Однако, кроме биомассы дрожжей ,белотин содержит часть растительного субстрата и культуральной среды. Общий химический состав белотина, по собственным и литературным данным, приведен в табл. 47. Протеин белотина (общее содержание до 44%) на 3/5 состоит из азотсодержащих веществ биомассы дрожжей и на 2/5 из протеина растительного сырья. В составе общего азота 5–6% может приходиться на долю минерального, источником которого является аммиачная вода. Количество нуклеиновых кислот находится в общих пределах (~ 5%), золы – 6–8%.

При изучении питательных свойств белотина для безжелудочного карпа, обладающего только кишечным пищеварением в щелочной среде, было показано, что эффект его использования значительно ниже, чем паприна [Салькова, Першина, 1997]. Это связано с более низкой переваримостью у рыб сухого вещества белотина (на 30%) в результате худшей доступности его белков (на 14%), и особенно углеводов (более, чем в 2 раза) и как, следствие, на 30–35% энергии (см. табл. 49).

При активном потреблении белотина карп плохо растет (почти в 6 раз хуже, чем на паприне). Для прироста единицы массы ему требуется в 7,5 раз больше белотина, чем паприна.

В варианте с монодиетой выявлены неблагоприятные изменения в обмене веществ у рыб. Они выразились в торможении синтеза пластических веществ, и в частности белка (на 11%), а также в обводнении прироста. В результате коэффи-

циенты конверсии сухого вещества корма, белка и энергии были ниже, чем в случае применения паприна, соответственно в 5,8, 4,5 и 6,3 раза.

Реакция карпов на присутствие белотина в составе комбикорма менее выраженна. При эквивалентной замене 9% паприна на белотин и при увеличении его дозы с 9 до 13,5% переваримость основных групп питательных веществ не ухудшилась, но эффективность использования на прирост рыб сухого вещества корма снизилась соответственно на 7 и 9%, энергии – на 9 и 12%, белка – на 8 и 18%.

При этом ингибирующее действие белотина на скорость роста карпа, хотя и ослабло, но осталось достаточно четко выраженным (15–22%) при больших (на 11–25%) кормовых затратах.

Опыты на рыбах, имеющих желудочно-кишечное пищеварение, таких как молодь форели [Маслобойщиков, 1997] и молодь осетровых [Судакова, 1997], свидетельствуют о несколько лучшей, чем для карпов, питательности белотина. Однако его питательная ценность существенно ниже и во многом уступает паприну, о чем свидетельствуют и данные И. Остроумовой [2001].

3.2.7. Биотрин

Биотрин – белково-витаминная и минеральная добавка к комбикормам для всех видов животных, созданная в 90-х годах прошлого века. Представляет собой сухой продукт, который получают путем микробиологического синтеза дрожжей рода Candida guilliermondii (штамм ВСБ-654). Субстратом служат отходы крупяного и мукомольного производства, меласса и т.д. По органолептическим свойствам биотрин – светло–коричневый продукт с запахом, свойственным дрожжам и ферментолизату. В связи с неоднородностью исходного сырья и нестабильностью соотношений его компонентов, биотрин, также как белотин и гиприн, имеет достаточно широкую вариабельность показателей химического состава (см. табл. 47). То же относится и к его макро- и микроэлементам. Однако, согласно техническим условиям его производства, минимальный уровень сырого протеина должен быть не ниже 35%, жиров – не более 10%, клетчатки – 9%, золы – 15%. По уровню и соотношению аминокислот в отдельных случаях он может приближаться к белкам соевой муки [Егоров и др., 1999].

В наших опытах с карпами [Щербина, Салькова, Першина, 1996; Щербина и др., 2001], было показано, что биотрин как самостоятельное кормовое средство по всем позициям уступает паприну и в количествах более 5% не может служить его заменителем. В монодиете он неохотно поедается рыбами и оказывает на рост рыб тормозящее действие (в 20 раз и более). Его питательные вещества неудобоваримы для карпа (см. табл. 49). Сырой протеин переваривается плохо (67% против 90% паприна). Низкая переваримость сухого вещества (24% против 80%) и энергии (32% против 80%) обусловлена неспособностью карпов переваривать углеводистый комплекс биотрина. Плохая доступность для рыб его питательных веществ явилась одной из причин низких показателей их конверсии (5–12%). Вторая причина–отрицательное влияние на обмен веществ. Оно выражается в сильной гидратации прироста, торможении синтеза белка, липидов и энергии, что сопровождается депрессией роста.

При введении биотрина в комбикорм в количестве 9–16% он не проявляет столь сильного отрицательного действия, но неблагоприятные тенденции сохраняются. Темп роста рыб адекватно снижается при соответствующем увеличении затрат корма на прирост. Нейтральный эффект получен при вводе в комбикорм 4% биотрина.

В опытах с форелью и рядом осетровых отрицательный эффект биотрина сохранился, но был менее выражен [Маслобойщиков, 1997; Судакова, 1997].

3.2.8. Метанольные дрожжи (меприн)

Этот кормовой белковый продукт выращивают на метаноле. Последний является более дешевым сырьем, чем этанол, так как получается из газа метана без особых затрат и на относительно простом оборудовании. Его производство имеет перспективу. Однако, по своим качествам, как питательная среда для культивирования микроорганизмов, метанол уступает этанолу. В качестве продуцента обычно применяют непатогенные штаммы бактерий из рода Pseudomonas, а также дрожжи рода Torulopsis.

По химическому составу (в расчете на абсолютно сухое вещество) меприн близок к другому продукту из микробной биомассы – гаприну. Он имеет 59–70% сырого протеина, в том числе около 7,5% нуклеиновых кислот, 4–6% общих липидов, 7–8% зольных элементов, углеводы составляют 9–30% (см. табл. 47).

В комбикормах для товарных рыб меприн применяется в тех же количествах, что и эприн [Скляров и др., 1995]. Стартовые корма с его содержанием на личинках карпа дают худший рыбоводный эффект, чем корма с эприном.

3.2.9. Пекарские и пивные дрожжи

Пекарские дрожжи. Относятся к роду Scacharomyces. Имеют очень плотную оболочку, плохо доступную для расщепления пищеварительными ферментами рыб. По некоторым сведениям, оболочка может составлять 20–30% сухой массы дрожжей. Она на 60–70% состоит из трудноперевариимых полисахаридов [Грачева и др., 1980]. Другие отрицательные свойства пекарских дрожжей – малое количество низкомолекулярных пептидов и присутствие в белках значительных количеств D-аминокислот. Известно, что в пищевых белках аминокислоты обычно находятся в L-форме, а D-аминокислоты оказывают неблагоприятное действие на метаболизм животных.

Есть опыт использования пекарских дрожжей в качестве источника белка в стартовых кормах для личинок карпа [Канидьев и др., 1984]. Их применение было эффективным только после предварительного автолиза в течение 10 ч, т.е. после расщепления белков на низкомолекулярные фракции. Результаты были близкими, но худшими, чем на эприне. Вопросы использования этих дрожжей решаются с учетом биологической и экономической эффективности.

Пивные дрожжи (Torula). По сведениям И. Остроумовой [2001], наличие в стартовых кормах пивных дрожжей, несмотря на высокое содержание в них растворимого белка (43%), отрицательно влияло на развитие, рост и выживаемость личинок сиговых и карпа. По всей вероятности, это явилось следствием отсутствия в их составе низкомолекулярных пептидов.

3.2.10. Мицелий высших грибов

Имеются попытки использовать в кормлении животных и рыб биомассу высокопродуктивных дереворазрушающих грибов – базидомицетов, получаемых по безотходной технологии. Кормовой продукт производят способом глубинного культивирования мицелиального гриба *H. abiefinus* с использованием широкого набора сред (крахмал картофеля и зерновых, отходы переработки кукурузы, соевая мука, белковые гидролизаты кожевенных отходов и др.). Предполагалось, что сухой мицелий может служить высокопитательным кормовым сырьем и потенциальным компонентом комбикормов.

Во ВНИИПРХе были выполнены исследования по оценке питательности биомассы гриба *H. abiefinus*, выращенного на крахмалосодержащих средах и ферментных гидролизатах кожевенных отходов. Опыты проводили на карпах, которые получали биомассу грибов в виде монодиеты и в составе комбикормов (4 и 8% вместо эприна).

По химическому составу сухой мицелий был близок к среднебелковым компонентам, используемым в комбикормовой промышленности (сырой протеин –

21–29%, сырой жир – 3–23%, сумма углеводов – 46–60%, сырая зола – 2–7%, фосфор – 0,7–1,3%). Соотношение питательных веществ варьировало в зависимости от состава среды культивирования. Минимум протеина обнаружен при культивировании гриба на малобелковых кукурузных средах, максимум–при введении кожевенных гидролизатов.

Питаясь мицелием, карп мог извлекать около 70% содержащихся в грибах белков, 80% липидов и 50% углеводов. Низкая переваримость общей суммы питательных веществ (~ 50%) обусловлена плохой доступностью углеводов и зольных элементов и осложнена выделением из организма эндогенных минералов. Последнее означает дисбалансированность минеральной части грибов для рыб и снижает потенциальную питательность их органической части в процессах усвоения.

По результатам ростовых экспериментов, содержание карпов на монодиетах из мицелия грибов резко снизило поедаемость корма, затормозило рост, ухудшило их физиологическое состояние. Это выразилось в истощении рыб и развитии у них дистрофии. Следует отметить, что подобные явления при полном голодании рыб при той же 20-суточной продолжительности были менее выражены, чем при питании грибами. Появились симптомы тимпании (газовой болезни кишечника), которые сопровождались сильным вздутием живота. Одновременно обнаружены поражение структуры жаберного аппарата и массовое развитие возбудителей паразитарных заболеваний (ихтиофтириуса, дактилогируса и костии). Все это свидетельствует о резком снижении общей резистентности рыб, что привело к гибели 40–100% подопытных экземпляров.

Включение 4–8% биомассы мицелия в комбикорм вместо эприна дало несколько меньший отрицательный эффект. Он выразился в снижении аппетита, торможении роста и ухудшении конверсии питательных веществ корма в организме рыб.

Возможные причины неблагоприятного эффекта–это наличие в мицелии грибов сильнодействующих антипитательных веществ, которые, угнетая обменные процессы, привели к развитию токсикозов и снижению устойчивости организма рыб. Вполне возможно, часть их выделялась в воду с экскрементами, что наряду со снижением общей резистентности рыб, способствовало развитию жаберных заболеваний.

Все изложенное является основанием для очень осторожного подхода к применению продуктов из мицелиального гриба *H. abiefinus*, полученного способом глубинного культивирования, в кормлении рыб.

3.3. Сырье животного происхождения

Продукты, вырабатываемые из различных частей тела животных или целого организма, относятся к важнейшим компонентам комбикормов для рыб. Они являются носителями полноценного белка и источниками других жизненно необходимых элементов питания, которые нередко отсутствуют или находятся в недостаточных количествах в других видах сырья. Прежде всего, это относится к лимитирующим в растительных компонентах незаменимым аминокислотам (лизину, метионину, триптофану), ценным фракциям липидов (фосфолипидам, незаменимым жирным кислотам), макро- и микроэлементам, витаминам, биологически активным веществам.

Среди продуктов животного происхождения наибольшую ценность представляет рыбная мука.

3.3.1. Рыбная мука

Этот вид животного сырья является одним из главных компонентов в комбикормах для молоди рыб, а также для старших возрастов таких ценных видов как лососевые и осетровые. Эти группы рыб наиболее требовательны к качественному составу комбикормов.

Пищевая ценность рыбной муки зависит от качества сырья, т.е. от вида рыб и состава частей их тела, которые пошли на изготовление муки. Обычно используются либо мелкие высокожирные мезопелагические рыбы, либо отходы при сортировке и разделке рыб в процессе производства пищевых продуктов, отбракованное сырье. Немаловажное значение имеет сезон отлова рыб, пол и физиологическое состояние, коррелирующие с величиной запасов питательных веществ, накопленных в их организме. Сроки начала обработки рыб после отлова и транспортировки, а также условия хранения сырья (на палубе, в холодильнике, после консервации) оказывают существенное влияние на свойства и химический состав продукции. Это связано с посмертным возникновением и развитием интенсивных биохимических процессов, в которых участвуют многочисленные ферменты (более 50) и биологически активные вещества собственных тканей рыб (т.е. идет так называемый автолиз). По инструкциям, регламентирующим производство рыбной муки [Инструкция..., 1994], не допускается хранение свежего сырья (сырца) на палубе при температуре 10 °С под брезентовым укрытием более суток, а соленого сырья – более месяца. Ткани некоторых видов рыб (в основном сельдевых, лососевых, скумбриевых) через 24–48 ч разжижаются, что осложняет, а иногда делает невозможной их переработку на кормовой продукт.

В связи с тем, что выработка рыбной муки ведется на судовых и береговых установках, удаленных от мест вылова, для сохранения качества сырья свежеотловленную рыбу охлаждают или засаливают. Из-за высокой стоимости охлаждения в целях консервации применяют нитрит натрия, в дозе 25 г/100 кг свежей рыбы, что увеличивает сроки хранения до 20 сут., или используют 0,1%-ный раствор формалина. Совместное введение нитрита натрия и формалина позволяет хранить сырье без ухудшения качества в течение 44–66 сут. [Дацун, 2001]. Однако, по данным АтлантНИРО, хорошее качество муки сохраняется лишь при задержке сырья на палубе не более 3 ч.

Усредненные собственные и литературные данные о химическом составе рыбной муки различной технологии изготовления по приведены в табл. 52.

Достаточно хорошо известно, что температурные условия проведения технологических операций, наличие или отсутствие антиокислителей, а также тип используемого оборудования могут существенным образом влиять на питательную ценность готового продукта.

Технологические операции при изготовлении рыбной муки. Переработка рыбного сырья на муку включает следующие основные технологические этапы: измельчение, варка, отжим жидких фракций (прессование), сушка жома, измельчение, упаковка. Остановимся на главных этапах, от которых в наибольшей степени зависит качество кормового продукта.

Варка сырья. Процесс варки является одним из важнейших этапов производства муки. Температура и продолжительность варки определяются видом сырья и применяемой технологией. В нормальном режиме (85–100°С) продолжительность варки составляет 10–20 мин. При обработке мелких мезопелагических рыб с повышенной жирностью и слабой структурой мышечных тканей (светящегося анчоуса, черноморской хамсы и др.) требуется температура 75–80°С, а продолжительность варки – 10–12 мин. Термическая обработка приводит к частичной денатурации белков; клетки, содержащие жиры, разрушаются, и он выходит наружу; одновременно идет стерилизация продукта. При жестких режимах, особенно на установках прямой сушки, помимо разрушения витаминов, происходит разрушение аминокислот, образование ядовитого соединения лизина с гистидином (гиззерозина), а также начинается перекисное окисление липидов. В то же время при пониженном температурном режиме обработки не разрушается тиаминаза – фермент, который инактивирует витамин B_1.

Прессование. На этой стадии технологического процесса происходит отделение от разваренной массы твердой фракции (жома) и жидкого подпрессового бульона. Жом должен содержать не более 55% влаги. Подпрессовый бульон состоит из воды, взвешенных частиц рыб, а также растворенных белков, жиров, минералов и ряда других веществ. По некоторым технологиям взвешенные частицы отделя-

ются от бульона через осадительные центрифуги и возвращаются в жом. Из очищенного бульона выделяется жир, остаток выпаривается и также идет в жом.

Таблица 52. Примерное содержание основных питательных веществ в рыбной муке в зависимости от вида сырья и технологии изготовления (на абсолютно-сухое вещество)

Показатели	Высокобелковая (1)		Малобелковая	Северо-атлантические рыбы ПС-Т (2)	Анчоус из Перу (2)	Мойва ПС-Т (5)	Хамса ПС-Т НПАВ + Na КМЦ (4)	Атлантическая сардинелла ПС-Т-ЭТ (3)	Килька каспийская ПС-Т (5)	Сельдь Менхеден (6)	Белая рыбная мука (6)
	жирная Пр-С	обезжиренная Э-Т	жирная Пр-С (1)								
Валовая энергия, МДж /100 г	2,32	1,93	2,20	1,99	1,99	1,99	2,22	2,0–2,3	2,28	2,02	1,94
Сырой протеин, %	73,2	69,0	59,4	65,1	64,6	66,6	72–75	70–71	76,1	62,0	63,0
Сырой жир, %	12,6	2,6	14,0	6,8	5,7	8,2	9–12	7,6–3,3	10,5	8,5	6,7
Углеводы, сумма, %	4,1	9,9	13,0	9,6	12,5	4,1	2–8	7,4–7,7	2,9	11,5	9,8
Сырая зола, %	10,1	18,5	13,6	18,5	17,2	19,0	11,0	15–18	10,5	18,0	20,5
В том числе, мг/100 г											
Кальций	4160	7400	3000	5170	3640	–	1120	–	–	5000	6800
Фосфор	2730	4020	2000	3470	2870	–	730	–	–	3400	3700
Магний	–	500	210	220	240	–	110	–	–	–	–
Калий	820	1840	770	690	690	–	390	–	–	–	–
Натрий	1060	1230	1360	830	830	–	600	–	–	–	–
Железо	10,4	12,6	8,3	22,0	22,0	–	17,6	–	–	–	–
Цинк	11,7	11,8	10,8	6,0	6,0	–	10,6	–	–	–	–
Марганец	1,0	2,6	1,1	0,5	0,95	–	1,55	–	–	–	–
Медь	1,0	1,7	0,5	0,4	0,93	–	0,54	–	–	–	–
Йод	–	0,3	–	0,9	0,9	–	–	–	–	–	–
Кобальт	0,08	0,01	0,01	–	–	–	–	–	–	–	–
Витамины, на 100 г:											
Д, И.Е.		8,3	–	–	–						
Е, мг		2,14			–						
B_1, мг		0,09			–					0,05	0,10
B_2, мг		0,62			–					0,60	1,0
B_3, мг		1,67			0,95					–	0,40
B_4, мг		407			398					360	175
B_5, мг		8,4			6,9					6,5	9,0
B_6, мг		1,63			–					–	–
B_7, мг		–			0,04					–	–
B_{12}, мкг		0,03			0,02					0,017	0,011

Примечания: 1. Технология изготовления: Пр-С – прямая сушка, Э-Т – экстракционная, ПС-Т – прессово-сушильная, НПАВ – неионогенные поверхностноактивные вещества, Na КМЦ – комплексообразователь.

2. Источники информации: 1 – Нормы и рационы..., 1985; 2 – Справочные сведения..., 1990; 3 – Щербина, Сергеева, 1993; 4 – Щербина, Генералова, 1987; 5 – Трофимова, Щербина, 1985; 6 – Справочник по контролю кормления..., 1982.

3. Прочерк означает что вещества не определялись, а пустые графы – отсутствие данных.

Сушка. Ее проводят при разных температурах, атмосферном давлении или под вакуумом. Обычно к жому, направляемому на сушку через разрыхлитель, присоединяют отделенные от бульона плотные белковые вещества и антиокислители. Из жома удаляется вода до уровня ее в готовом продукте – не более 10%. Эффективность процесса сушки увеличивается с повышением температуры. Однако длительное воздействие температуры 100°С приводит к понижению качества и кормовой ценности муки вследствие разрушения (дезаминирования) аминокислот и окисления липидов. В результате происходит накопление продуктов перекисного окисления липидов (гидроперекисей). Процесс сопровождается образованием веществ, ухудшающих цвет муки и придающих ей неприятный прогорклый запах. Увеличение продолжительности сушки приводит к тем же неприятным последствиям, что и высокая температура [Боева, 2002].

Способы изготовления рыбной муки. Производство рыбной муки на отечественном и импортном оборудовании ведется следующими основными технологическими способами: прямой сушки, прессово-сушильным, экстракционным центрифужно-сушильным и комбинированным прессово-сушильным с химическими добавками. В настоящее время в практику вводят наиболее прогрессивный способ с использованием низкотемпературной вакуумной сушки, максимально щадящий питательные свойства сырья (LT – технология).

Выбор способов изготовления рыбной муки и параметров технологического процесса зависит в основном от содержания в сырье липидов. По этому признаку сырье делят на три группы: тощее (менее 5% липидов), средней жирности (до 10%), жирное (более 10%). Тощее сырье может быть переработано способом прямой сушки без отделения жира; сырье средней и высокой жирности – прессово-сушильным и комбинированным способами с применением различных добавок.

Способ прямой сушки. По этой схеме рекомендуется перерабатывать сырье жирностью не более 5%. Однако в промышленности этим простым способом зачастую обрабатывается как среднежирное, так и жирное сырье. Оборудование устанавливается на судах, и выработка муки идет в море.

Способ основан на одновременном разваривании и сушке сырья без промежуточного удаления воды путем прессования. Измельченное сырье поступает в сушильные барабаны, в которые подается пар. Барабаны прогревают от 90 до 100° С. Варка продолжается 20–27 мин. Далее в барабанах с помощью вакуум-насосов создается разрежение (65 кПа) и подается греющий пар (до давления 0,35 МПа). Процесс длится 4–5 ч, пока содержание воды в разваренной массе не достигнет 10–12%. После измельчения массу фасуют и направляют на хранение. Выход муки 24%, потери практически отсутствуют [Дацун, 2001].

К преимуществам способа относятся небольшие размеры, простота конструкции и обслуживания установок, малые энергоемкость и потребление пара, высокий выход муки. Недостатки – при обработке сырья с жирностью более 5% не удается получать кормовую муку, соответствующую ГОСТам по содержанию жира и стойкую при хранении.

Получаемая мука характеризуется высоким содержанием денатурированных белков и низкокачественных липидов. Наличие гидроперекисей в липидах снижает кормовую ценность муки и ускоряет процессы ее окисления при хранении [Боева, 2002].

Более прогрессивная модификация способа прямой сушки – использование вакуумных установок с разрежением 300–500 мм рт. ст., при температуре 75–80 °С и продолжительности процесса 4,5–5,0 ч. По этой технологии возможна переработка жирного сырья без проваривания. В продукте резко замедляется окисление липидов, повышается количество микроэлементов и углеводов.

Прессово-сушильный способ. С помощью специальных прессов обеспечивается переработка сырья с относительно высоким содержанием липидов. Режим варки (температура, давление и количество пара) регулируется в зависимости от вида сырья. Сырец, разваренный в специальных варильниках, поступает в винтовой пресс, где происходит частичное удаление влаги. Твердый остаток (жом), содер-

жащий 50–55% воды, просушивают в сушилках до влажности 8–10%. Из подпрессового бульона выделяют крупные плотные частицы, которые смешивают с жомом и направляют в сушилку. Жир отделяют в сепараторе и собирают для хранения в танках. Обезжиренный бульон нагревают и подают в выпаривательный аппарат [Дацун, 2001]. Процесс идет при более мягких температурных режимах, чем при способе прямой сушки, что позволяет получать муку повышенной кормовой ценности.

Преимущество способа – относительно простое оборудование. Сырье перед началом сушки имеет влажность около 50% (против 75–80% при способе прямой сушки). Существуют более широкие возможности переработки сырья различного состава при соблюдении высокого качества продукта. Недостатки – относительная сложность подбора режимов обработки сырья из-за вариабельности его состава, более высокие энергетические затраты, потеря около 45% объема подпрессового бульона (или 1,6% в пересчете на рыбную муку).

К концу 90-х годов XX века для России и бывших республик СССР технологическая схема производства рыбной муки этим способом оказалась технически наиболее совершенной и экономически целесообразной. Современные прессово-сушильные установки сблокированы в агрегаты непрерывного действия, автоматизированы и легко доступны в обслуживании.

Экстракционный способ. Существует в двух вариантах. При первом, который не получил широкого распространения, сушка и обезжиривание ведутся одновременно. По второму – липиды извлекают из готовой рыбной муки. Как правило, это комбинация прессово-сушильного способа изготовления рыбной муки с последующей экстракцией жира различными растворителями. По этой технологии работают в основном береговые заводы, которые перерабатывают очень жирную рыбную муку, изготовленную на судовых установках в море. Экстракция жиров с помощью таких органических растворителей, как дихлорэтан, трихлорэтан, изопропиловый спирт, бензин, гексан ведется в системе непрерывно действующих аппаратов. Наиболее часто употребляются гексан или экстракционный бензин [Исаев, 1985]. Экстракционные установки могут вести процесс непрерывно при минимальном расходе растворителя. Содержание липидов в муке может быть снижено до 1%.

Центрифужно-сушильный способ. Позволяет использовать для производства кормовой муки сырье любой консистенции и с высокой жирностью. При этой технологии механическая сила прессования заменяется центробежной силой декантатора. Из варильника сырье с помощью насоса перекачивают в центрифугу, где происходит разделение жома (60–63% воды) и бульона. Плотную часть высушивают, а бульон обрабатывают по прессово-сушильной схеме. После сушки выход муки колеблется в пределах 15–19%. Содержание жира в муке на 25–30% ниже, чем в выработанной прессово-сушильным способом. Осадительные центрифуги (в основном зарубежного производства) устанавливаются на судах.

Преимущества способа: большой выбор режимов обработки сырья, возможность автоматизации процесса, использование сырья любой жирности. Недостаток способа – необходимость более длительного разваривания сырья и увеличение времени сушки в условиях высоких температур, что ухудшает качество муки как кормового продукта, а также относительно низкий выход муки – в среднем 16% [Дацун, 2001].

Комбинированный прессово-сушильный способ. Разработан ВНИРО для обеспечения в рыбной муке из жирного сырья стандартного содержания липидов (не более 10%), что достигается путем введения в сырье на стадии разваривания поверхностно-активных веществ. В результате создаются условия для отделения липидов от плотной части и их перехода в жидкую фазу. Это увеличивает выход жира и создает более благоприятные условия для высушивания жома. В качестве эмульгаторов используются неионогенные нетоксичные поверхностно-активные вещества (НПАВ). Наиболее ценными свойствами для сырья средней жирности обладает ОС-20; для тощего сырья – оптимален оксанол, О-18. Для особо жирного сырья – пальмитат-25. С целью уплотнения консистенции разваренной массы

вводится загуститель (2,5%-ный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, КМЦ). В количестве 0,5% это позволяет увеличить выход муки до 20%, а совместное использование НПАВ (ОС-20) и загустителя (КМЦ) – до 21%.

Преимущества способа – возможность регулирования степени выделения жира из сырья независимо от его первоначального количества; улучшение состава жирных кислот рыбной муки; получение продукта, стойкого при хранении. Выход рыбьего жира возрастает на 30–50%.

Недостаток – увеличение стоимости продукции за счет использования НПАВ.

LT-технология. При обработке используется очень свежее сырье определенных видов рыб (находившееся на палубе не более 3 ч). Обработка ведется в вакуумных установках при температуре от 50 до 70 °С по специальной технологии, препятствующей разрушению витаминов, образованию ферментоустойчивых комплексов лизина с углеводами и минеральными веществами, а также перекисному окислению липидов. Эти особенности позволяют максимально сохранять питательные свойства рыбного сырья. Комбикорма, содержащие LT-муку, обеспечивают более высокий темп роста рыб по сравнению с кормами, включающими рыбную муку, изготовленную по прессово-сушильному способу. В настоящее время в Российской Федерации ее производство не освоено.

Хранение рыбной муки. После изготовления перед транспортировкой, как правило, отечественная рыбная мука накапливается на судах, которые находятся на больших расстояниях от потребителя. Период между изготовлением и доставкой муки к производителям кормов может достигать 6–8 мес. Поэтому для сохранения питательных свойств рыбной муки, особенно содержащей 10% и более жира, в нее добавляют антиокислители (ионол, сантохин, дилудин, анфелан, агидол, кормолан и др.). Они предотвращают или тормозят процессы окислительной порчи липидов и их введение рекомендуется независимо от способа изготовления муки.

В настоящее время наиболее употребительны масляные и порошкообразные формы препаратов. Недостатки порошкообразного агидола (являющегося ионолом) – вероятность неравномерного распределения в массе продукта и плохое проникновение в липидные компоненты муки. Среди новых препаратов заслуживает внимания "Кормолан – А1". Это тот же ионол, но заключенный в виде 25%-ного препарата в микромицеллы. Перед другими формами ионола он обладает важными преимуществами: смешивается с водой в любых соотношениях и в виде водного раствора равномерно распределяется в массе муки, легко проникает в липидные компоненты, более эффективно, чем ионол и агидол, тормозит свободнорадикальное окисление липидов, технологичен при производстве в жестких режимах экструзии.

Антиокислители [Инструкция..., 1994] в зависимости от стадии обработки сырья и технологи изготовления рыбной муки добавляют в следующих количествах:

– перед варкой в среднем 0,03–0,05% к массе сырья;

– в жом перед сушкой – 0,04% к его массе ионола и сантохина, 0,008–0,02% – анфелана;

– в готовую муку – от 0,02 до 0,1% к ее массе.

Остаточная доля ионола в готовой продукции не должна превышать 0,1% [Инструкция..., 1994].

В случае введения двух видов антиоксидантов количество каждого уменьшается вдвое. В случае жирного сырья предпочтение отдается комплексу ионола с сантохином.

Ионол вводят в количестве 0,03% перед варкой сырья, сантохин добавляют в жом перед сушкой в количестве 0,02%. Наиболее эффективным стабилизатором считаются смеси: дилудин+сантохин, дилудин + ионол в количестве 0,3% массы сырца.

Эффект антиокислителей основан на их взаимодействии со свободными радикалами жирных кислот, гидроперекисей и других продуктов распада, образующих новые радикалы. Сами антиокислители при этом окисляются. В. Дацун

[2001] предлагает следующую схему реакции между молекулой антиокислителя InH и свободным радикалом RO_2°:

$$InH + RO_2^{\circ} \rightarrow RO_2H + In^{\circ}$$

Радикал In° мало активен и не способен участвовать в процессе окисления липидов.

Применение антиокислителей необходимо и для предупреждения самосогревания и самовозгорания рыбной муки, которое происходит в результате выделения тепла при окислении липидов. Скорость самосогревания зависит от состава липидов. Она тем выше, чем больше в них содержится высоконенасыщенных жирных кислот, наиболее важных в питании рыб. Процесс самосогревания муки сопровождается поглощением кислорода и увеличением концентрации окиси и двуокиси углерода.

Условия внешней среды при накоплении, транспортировке и хранении рыбной муки могут способствовать ее обсеменению микроорганизмами. Сразу после выработки мука обычно содержит более 650 тыс. микробиальных клеток/1 г. При низком содержании жира – их меньше (около 250–300 тыс.). Преобладают кокковые формы и палочки, встречаются плесневые грибы (Aspergillus, Penicillus, Mucor и др.). Повторное обсеменение муки происходит при хранении, особенно при повышенной влажности (14–16%). Наибольшее накопление микрофлоры обычно наблюдают на 30-е сутки хранения, когда отмечается максимальный уровень накопления продуктов деградация белков и липидов. В дальнейшем процесс идет медленнее из-за недостатка воды и воздуха и повышения концентрации продуктов распада, что угнетает развитие микрофлоры. К 90-м суткам микробиальная обсемененность резко снижается, почти исчезают плесневые грибы. Стабилизация муки сантохином подавляет развитие ряда жирорасщепляющих бактерий р. Pseudomonas [Дацун, 2001]. Считается, что рыбная мука после 6 месяцев хранения при плюсовой температуре из-за прогоркания жировой фракции и развития микрофлоры может приобретать токсические свойства. В то же время патогенная микрофлора, приводящая к заболеваниям и токсикозам, в рыбной муке выявляется в меньшей степени, чем в мясокостной [Чернышов, Панин, 2000]. Существуют литературные данные и результаты наших наблюдений, согласно которым стабилизированная рыбная мука может сохранять высокую пищевую ценность более 6 мес. (табл. 53).

Кормовая ценность рыбной муки. Питательные свойства рыбной муки, как было указано выше, определяются целым рядом факторов, как-то: источник сырья (вид рыб, сроки их отлова, физиологическое состояние, части тела рыб), способ консервации сырца, технология изготовления, сроки хранения.

В мировой практике производится рыбная мука двух видов – белая и коричневая. Белая мука готовится из так называемых белых рыб (минтая, трески, камбалы и др.), лов которых в основном ведется в районе Аляски, поэтому ее еще называют "полярной". Однако чаще "белой" называют муку из отходов переработки рыб на филе (костных остатков, кожи, чешуи, внутренностей). Сырьем для коричневой муки служат массовые жирные рыбы – обычно сельдевые. Оба вида муки различаются по содержанию жира: 2–6% в белой муке и 7–10% в коричневой; в муке из сайры и мойвы его содержание доходит до 18%. Поэтому химический состав рыбной муки как кормового продукта колеблется в широких пределах. По усредненным данным (см. табл. 52) в сухом веществе рыбной муки содержится: 60–70% сырого протеина, 3–18% липидов, 4–13% углеводов, 10–20% минеральных веществ, 1,9–2,3 МДж/100 г энергии.

Аминокислотный состав рыбной муки по отношению к белку относительно стабилен и характеризуется высоким содержанием и благоприятным соотношением для животных незаменимых аминокислот (см. табл. 53 и 54). Состав липидов в наибольшей степени, чем другие питательные вещества, подвержен зависимости от перечисленных эколого-биологических и технологических факторов. В липидах преобладают либо поли-, либо мононенасыщенные жирные кислоты (табл. 55). Их высокое содержание создает опасность возникновения перекисного окисления и обусловливает необходимость ввода антиоксидантов для его

Таблица 53. Содержание (% белка), доступность карпу (% поступивших с кормом) и скоры (% потребности) доступных незаменимых аминокислот естественной пищи, рыбной муки и животного сырья

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенил-аланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин/ липиды, %
Потребность карпа в аминокислотах, % белка	6,6	2,4	5,8	3,9	2,2	4,6	4,6	3,7	6,2	3,2	
Chironomus thummi (2)											
Содержание	7,2	2,5	5,7	5,1	1,9	4,4	6,6	4,4	9,2	3,0	
Доступность	93	87	93	87	89	87	88	90	74	80	53/9,3
Скор	101	91	91	114	77	84	125	109	109	75	
Daphnia magna (3)											
Содержание	6,2	2,2	6,7	5,5	2,3	6,7	4,6	6,2	8,2	4,0	
Доступность	92	88	90	84	91	86	87	84	8,7	85	44,0/8,0
Скор	86	81	104	118	95	125	87	141	115	115	
Рыбная мука из мойвы, ПС-Т, 3 мес. хранения (4; 5)											
Содержание	7,1	2,3	6,5	5,2	2,8	6,0	6,5	4,9	9,0	3,2	
Доступность	93	93	94	92	95	91	91	92	92	89	66,6/8,2
Скор	100	89	105	133	121	119	129	122	134	89	
Рыбная мука из мойвы, ПС-Т, 10 мес. хранения (4)											
Содержание	7,0	2,7	6,4	5,0	2,1	5,9	6,2	4,9	8,4	3,7	
Доступность	76	75	76	73	63	73	71	74	75	72	60,1/6,7
Скор	81	84	84	94	60	94	96	98	102	83	
Рыбная мука из мойвы, ПС-Т, стабилизированная НПАВ, 10 мес. хранения (4)											
Содержание	7,2	2,2	6,5	5,1	2,5	5,9	6,4	4,9	8,7	3,5	
Доступность	93	94	94	92	95	92	98	93	94	92	58,0/13,3
Скор	101	86	105	120	108	118	136	123	132	101	
Коричневая рыбная мука, Пр-С											
Доступность	–	–	67	72	76	75	59	74	83	72	58/9

Продолжение табл. 53

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенил-аланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин/ липиды, %
Рыбная мука из отходов производства филе, ПС-Т											
Гранулированная (6)											
Содержание	7,7	3,2	7,5	4,9	3,2	4,9	3,2	3,9	7,7	3,3	45,5/6,2
Доступность	90	82	84	89	86	91	83	88	90	82	
Скор	105	109	109	120	125	97	58	93	112	85	
Экструдированная											
Содержание	7,8	3,3	7,2	5,0	3,4	4,9	4,4	4,0	7,7	3,4	50,3/5,8
Доступность	90	82	86	87	84	84	82	86	87	80	
Скор	106	113	107	111	130	89	78	93	108	85	
Крилевая мука, ПС-Т (7)											
Содержание	7,8	2,2	6,1	5,5	2,7	3,9	5,1	4,3	9,3	5,1	38,9/6,2
Доступность	84	79	85	86	88	82	85	88	89	87	
Скор	99	73	89	121	108	69	94	103	134	139	
Мясокостная мука											
Гранулированная (6)											
Содержание	6,2	3,0	6,8	4,5	2,3	4,9	4,1	3,7	7,3	3,0	43,4/14,6
Доступность	63	53	64	55	53	51	55	51	56	50	
Скор	59	66	75	63	55	54	49	51	66	47	
Экструдированная											
Содержание	5,5	2,8	7,0	4,0	2,1	5,2	4,1	3,8	7,3	2,7	43,0/11,9
Доступность	84	73	78	79	81	79	80	81	82	71	
Скор	70	85	94	81	77	89	71	83	97	60	

Окончание табл. 53

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенил-аланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин/ липиды, %
Кровяная мука (8)											
Содержание	6,7	5,3	3,6	3,4	1,0/2,5**	7,4	5,8	1,1	10,3		70–83/3–6
Доступность (9)	87	84	88	87	85/81**	87	90	82	90		
Скор	94	185	55	76	38/65**	140	113	25	149		
Перьевая мука (8)											
Содержание	1,8	0,6–1,0	6,0	4,2	0,9–1,4/6,1**	6,0	4,0	4,0	6,9	2,4	78–96/2–7
Доступность (9)	50	45	73	71	68/71**	62	65	50	61	–	
Скор	14	11	76	76	28–43/132**	81	56	65	68	77	

*При недостатке заменимого тирозина утилизируется незаменимый фенилаланин.

**метионин + цистин.

Примечания: 1. ПС–Т – прессово–сушильная технология; Пр–С – прямая сушка; НПАВ – неионогенные поверхностно–активные вещества, вводимые в сырье при изготовлении рыбной муки.

2. Источники информации: 1 – Щербина, Салькова, 1987; 2 – Shcherbina, Pershina, 1995; 3 – Першина, Щербина, 1999; 4 – Салькова, 1991; 5 – Щербина, Киселев, Касаткина, 1992; 6 – Щербина, Салькова, Гамыгин, 1999; 7 – Салькова, Щербина, Генералова, 1987; 8 – Щербина, Салькова, Першина, 2001; 9 – Чернышов, Панин, 2000 (для птиц).

Таблица 54. Усредненные данные о потребностях (% белка), содержании (% белка), доступности (% поступивших с кормом) и скорах (% потребности) доступных незаменимых аминокислот ряда кормовых средств для радужной форели [пересчеты данных Н. Сергеевой, 1989; Н. Сергеевой и М. Нефедовой, 1989] по усредненным значениям потребностей лососевых, полученных Огино и Чо [Ogino, 1980; Cho, Cowey, 1991]

Показатели	Лизин	Гистидин	Аргинин	Треонин	Метионин	Валин	Фенил-аланин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин*	Сырой протеин
Потребность в аминокислотах, % белка	6,1	1,6	5,9	3,5	2,9	3,1	3,0	2,4	9,1	3,9	
Мука из мойвы, ПС–Т**											
Содержание	8,3	2,4	5,6	5,6	2,7	6,3	3,2	3,4	7,1	3,1	67,3
Доступность	95	89	90	98	85	93	86	89	93	84	
Скор	129	134	85	157	79	189	92	126	73	67	
Мука из атлантической сардинеллы, ПС-Т											
Содержание	8,0	3,5	7,0	5,1	4,2	5,0	4,7	4,8	7,3	3,8	69,9
Доступность	86	88	91	85	87	83	84	83	85	84	
Скор	113	193	108	124	126	134	132	166	68	82	
То же, Э-Т**											
Содержание	7,4	3,7	6,8	5,6	4,2	5,3	4,8	4,9	7,7	4,4	71,2
Доступность	84	87	90	88	89	87	85	88	87	87	
Скор	102	201	104	141	129	149	136	180	74	98	
Крилевая мука, ПС-Т											
Содержание	8,6	2,7	6,3	4,7	3,0	5,7	6,2	4,9	8,6	5,1	58,4
Доступность	95	91	95	93	95	94	56	96	96	93	
Скор	134	154	101	125	98	173	116	196	91	122	
Мука из отходов производства филе кальмаров, ПС-Т											
Содержание	7,5	2,6	6,2	4,6	2,8	4,9	4,1	4,1	8,0	3,4	49,9
Доступность	86	88	91	85	87	93	87	85	84	86	
Скор	106	143	96	108	84	147	119	145	74	75	
Мясокостная мука											
Содержание	6,1	2,2	5,9	3,7	1,6	5,1	4,3	2,4	8,3	2,8	40,7
Доступность	85	80	89	82	87	82	82	80	84	82	
Скор	85	110	89	87	48	135	118	80	77	59	
Кровяная мука****											
Содержание	6,7	5,3	3,6	3,4	1,0	7,4	5,8	1,1	10,3	1,2***	70–83
Скор (по валовым кислотам)	110	331	61	97	34	239	193	46	113	240***	

*При недостатке тирозина утилизируется незаменимый фенилаланин.
**ПС–Т – прессово-сушильный способ изготовления рыбной муки, Э–Т – экстракционная технология.
***Триптофан.
****По Трямкиной, 1977.

предупреждения или замедления. Это тем более необходимо, что присутствие продуктов окисления приводит к разрушению аминокислот и резкому нарушению процессов усвоения у рыб витаминов, особенно А [Ржавская, 1976]. В зависимости от технологии изготовления уровень жира может быть резко отличным: при экстракционной – менее 2%, прямой сушки – более 20%, прессово-сушильной – до 5–8%. Соответственно зависим и уровень минеральных элементов, а также углеводов.

Таблица 55. Состав жирных кислот общих липидов различных видов рыбной муки и животного сырья, % общей суммы

Жирные кислоты		Рыбная мука из			Мука			Жир куриный топленый*
Название	Код	атлантической сардинеллы, ПС-Т	мойвы, ПС-Т	хамсы ПС-Т + НПАВ + Na КМЦ	кальмаровая ПС-Т	крилевая ПС-Т	мясокостная	
Общие липиды, г/100 г		17,3	8,2	11,7	10,7	11,8	9,2	–
Насыщенные		26,6	24–30	42,6	28,2	24,6	40,3	–
В том числе:								
Миристиновая	14:0	6,7	4,9–5,9	7,0	4,0	3,7	5,5	0,8
Пальмитиновая	16:0	17,4	13–16	27,5	20,5	19,4	19,2	25,3
Гептадекановая	17:0							3,7
Стеариновая	18:0	1,9	2,3–3,5	5,1	2,5	1,5	15,7	7,9
Мононенасыщенные		31,9	41–44	26,2	30,4	35,0	43,7	–
В том числе:								
Пальмитоолеиновая	16:1n-6	8,0	6,0–8,0	6,3	4,6	9,7	5,7	8,5
Гептадеценовая	17:1							0,8
Олеиновая	18:1n-9	4,5	17–21	16,6	17,1	20,8	32,2	41,4
Эйкозамоноеновая	20:1n-9	11,0	5,0–13	2,9	5,9	2,8	2,4	–
Полиненасыщенные		41,5	28–32	31,5	41,4	40,4	15,9	–
В том числе:								
Линолевая	18:2n-6	15,4	2,0–3,0	2,4	1,9	4,4	6,9	9,9
Линоленовая	18:3n-3	1,8	0,4–0,7	2,2	2,9	1,4	0,7	0,9
Октадекатетраеновая	18:4n-3	2,7	–	0,1	0,8		–	–
Эйкозатриеновая	20:3n-9	0,8	–	0,6	0,9	–	–	–
Арахидоновая	20:4n-6	0,4	0,5–1,5	0,8	1,3	0	3,4	–
Эйкозапентаеновая	20:5n-3	9,5	11	7,1	13,0	21,7	0	–
Докозапентаеновая	22:5n-3	0,7	–	0,5	0,8	8,5	0	–
Докозагексаеновая	22:6n-3	9,9	11–13	17,3	19,5	0	0	–

Примечания: 1. ПС-Т – прессово-сушильная технология; НПАВ – неионогенные поверхностно активные вещества; NaКМЦ – комплексообразователь.

2. Источники информации: Сергеева, 1984; Сергеева и др., 1987, 1989; Щербина, Сергеева и др., 1993.

*Анализы ВНИИТИП, 2003.

Минеральная часть рыбной муки богата кальцием (1,1–7,4%), фосфором (0,7–4,0), натрием (0,6–1,4%) и калием (0,4–1,8%). Ее микроэлементный состав отличается во много раз большим, чем в муке из наземных животных, содержанием железа, марганца, цинка и кобальта.

Недостаток – основная часть фосфора входит в состав нерастворимого комплекса гидроксиапатита костей, а ряд других элементов (в частности, цинк) находится в связи с фитиновой кислотой, образуя фитаты, очень плохо расщепляемые в пищеварительном тракте рыб (равно как и наземных животных).

Содержание поваренной соли в рыбной муке по ГОСТ 2116-2000 допускается до 5% (за рубежом обычно 2%). Это дает возможность производить муку из сырья, законсервированного солью. В то же время ее содержание в готовых комбикормах более 1% избыточно и негативно отражается на пищеварительном тракте рыб, вызывая его поражения.

Большая часть углеводов при общем содержании 4–13% входит в состав органической части костной ткани. К ним относятся трудногидролизуемые углеводы типа хондроитинсерной кислоты и сложных форм соединения углеводов с белками. На долю гликогена приходится не более 1%.

Рыбная мука – хороший источник витамина B_{12} (до 350 мкг/кг) и других витаминов этой группы. Исключение составляет B_1, присутствующий в количестве 0,01 мг/кг, – самое низкое содержание по сравнению с другими наиболее употребительными кормовыми средствами [Чернышов, Панин, 2000].

Особенности различных технологий производства и хранения рыбной муки способны вызывать изменения ее питательных свойств как кормового продукта. Это касается всех основных групп питательных веществ. По Ф. Ржавской [1976], В. Дацун [2001] и другим авторам, наиболее важные изменения белков связаны с воздействием высоких температур при варке, и особенно при упаривании, а также с воздействием гидроперекисей липидов. Особенно нестойки к температурному воздействию (более 100 °С) в процессе упаривания бульона цистеин, гистидин, триптофан. При сушке разрушаются также лизин, лейцин, изолейцин, треонин. При нагревании и в процессе хранения (особенно при разогреве) образуются резистентные к действию пищеварительных ферментов связи аминокислот с сахарами. Особое значение имеет то обстоятельство, что подобные образования лизина существенно снижают его доступность для рыб.

Наличие продуктов перекисного окисления липидов (особенно на стадии сушки жома) также вызывает разрушение лизина. Ф. Ржавская [1976] приводит сведения о значительной модификации свойств белков в результате образования липидно-белковых полимеров в процессе окисления высоконенасыщенных жирных кислот. Резко снижается растворимость белков в воде, затрудняется их гидролиз в соляной кислоте. В различных белках, находящихся в смеси с окисляющимися липидами, наиболее сильно подвержены разрушению метионин (до 40–80%) и гистидин (до 20–60%). К высоко лабильным аминокислотам, которые разрушаются в различной степени, относятся также лизин, треонин, глицин, тирозин, серин, валин. Высказана мысль, подкрепленная экспериментальными данными, что свободно-радикальный цепной механизм полимеризации белков при окислении липидов имеет большое сходство с механизмом воздействия на белки γ-облучения. Однако степень денатурации белков при радиационном облучении во много раз выше.

Наибольшая сохранность аминокислот муки достигается при стабилизации липидов смесью антиокислителей в присутствии неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ).

В процессе хранения относительное содержание сырого протеина изменяется незначительно. В то же время уменьшается количество водорастворимых белков, накапливаются низкомолекулярные продукты распада (аммиак, летучие вещества и др.). Интенсивность изменений возрастает по мере повышения температуры и влажности муки.

Основные преобразования в составе липидов рыбной муки при хранении связаны с изменениями состава жирных кислот под воздействием кислорода воздуха. При длительном воздействии повышенной температуры в процессе хранения связь между продуктами окисления липидов и реакционными группами белков усиливается. Это вызывает уменьшение растворимости белков, снижение атакуемости их пищеварительными ферментами, изменение консистенции (разжижение) и цвета (побурение) муки. Высоконенасыщенные жирные кислоты подвергаются гидролизу и перекисному окислению. Сокращается число поливалентных связей, и они теряют свои полезные питательные свойства.

Питательные свойства рыбной муки различной технологии изготовления в кормлении рыб. ВНИИПРХ совместно с рядом институтов (ВНИРО, АтлантНИРО, АзчерНИРО, АзНИИРХ, Калининградский ГТУ и др.) в течение длительного времени (1982–1995 гг.) вел исследования по оценке питательности различных видов рыбной муки. Их цель – получение кормовых продуктов высокого качества путем усовершенствования технологии изготовления.

Как и в предшествующих разделах, испытания проводили на двух основных объектах пресноводной аквакультуры – теплолюбивом мирном всеядном и безжелудочном карпе, пищеварение которого осуществляется в щелочной среде, и холодноводном хищнике – радужной форели, переваривающей пищу в последовательно сменяющейся кислой среде желудка и щелочной среде кишечника.

Как указывалось выше, установленное нами ранее [Щербина и др.,1965, 1967, 1969–1971а, 1973–1973а, 1980, 1983–1984] сходство реакций карпа и форели – столь различных по экологии и физиологии рыб, а также птиц и свиней [Чернышов, Панин, 2000], на специфические свойства комбикормов и их отдельных компонентов позволяет предполагать аналогичную реакцию и других объектов рыборазведения на описываемые нами питательные свойства рыбной муки.

Технология с использованием способа прямой сушки (Пр-С). Сущность способа состоит в одновременном разваривании и сушке сырья без промежуточного удаления воды и жира. Ограничение – содержание жира в сырье должно быть не более 5%.

Нами была испытана так называемая коричневая мука, изготовленная преимущественно из сельдевых рыб. Образец имел в своем составе 58% сырого протеина, 9% жира, 20% углеводов, 12% зольных элементов, 0,9% фосфора.

Эксперименты на карпах показали, что эта мука плохо переваривается в организме рыб (табл. 56). Переваримость общей суммы питательных веществ составила 46–48%, сырого протеина – 72–75%. Несколько лучшими были показатели для липидов – 76–80%. Плохо доступной оказалась и минеральная часть – 1,2–16% [Щербина, Генералова, 1987]. Для углеводистых веществ получены отрицательные показатели. Это означает, что углеводистая часть рыбной муки, состоящая в основном из хрящевой ткани скелета и частично из гликогена, не только обладает очень плохой переваримостью, но и подвергается в процессе пищеварения различным превращениям. В результате гидролитического расщепления крупных полисахаридов в кишечнике образуется значительное количество обломков, к каждому из которых присоединяется вода, увеличивая общую массу углеводов. Однако разрушение их оказывается недостаточным для эффективной обработки ферментами, и эти обломки не поддаются действию пищеварительных ферментов. Непереваренные частицы полисахаридов в больших количествах выделяются с экскрементами и маскируют истинную переваримость углеводов.

Анализ доступности незаменимых аминокислот (см. табл. 54) показал, что их общая сумма усваивается в количестве, близком к коэффициенту переваримости сырого протеина. Но он оказался существенно ниже, чем при переваривании доброкачественной рыбной муки, полученной по другим технологиям. Сравнение приведенных данных с аналогичными показателями для других видов муки (см. табл. 53 и 56) свидетельствует не в пользу способа прямой сушки и дает основание говорить о худших качествах этой муки как компонента комбикормов для рыб.

Прессово-сушильная технология (ПС-Т). Стандартная технологическая схема предусматривает первоначальное отделение от разваримого сырья с помощью специальных прессов жидкой части, последующее сепарирование подпрессового бульона для отделения жира и сушку твердого остатка.

До конца XX века эта технология считалась наиболее прогрессивной и экономичной на рыбоперерабатывающих предприятиях СССР. Ограничение – содержание жира в сырье составляет не более 10%.

В связи с тем, что по этой технологии обрабатываются многие виды рыб, вылавливаемых в различных регионах мира, и одновременное получение их образцов на одной судовой установке невозможно, мы провели анализ имевшихся

Таблица 56. Коэффициенты переваримости основных питательных веществ и энергии естественной пищи рыб и рыбной муки, изготовленной из разного сырья по различным технологиям, % съеденных

Вид сырья, способ изготовления и срок хранения рыбной муки	Содержание в муке протеина/ липидов, %	Вид рыбы	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы	Минеральные вещества		Энергия	
							сырая зола	фосфор	%	МДж/100 г
Естественная пища										
Chironomus thummi	53/6	Карп (1)	79	85	94	72	31	–	83	
Daphnia magna	44/8	То же	65	80	79	64	4	26	75	
Рыбная мука из мойвы, ПС-Т										
3 мес. хранения	67/8	Карп (2)	65	83	87	61	21	17	82	1,48
		Форель (3)	84	91	–	49	68	–	–	–
		Осетр (3)	73	87	79	33	27	30	–	–
		Бестер (3)	77	91	90	41	40	31	–	–
10 мес. хранения	60/7	Карп (2)	51	70	76	41	10	10	64	1,23
Мука из мойвы, стабилизация НПАВ, ПС-Т,										
3 мес. хранения	65/13	Карп (2)	70	90	93	47	10	22	88	1,86
		Осетр (3)	74	94	94	16	37	–	–	–
		Бестер (3)	63	93	62	–	60	–	–	–
10 мес. хранения	58/13	Карп (2)	73	91	92	53	26	13	75	1,63
Мука из атлантической сардинеллы										
ПС-Т	70/17	Карп (4)	75	88	92	36	34	61	85	1,94
		Форель (4)	77	86	94	84	33	–	88	2,03
Э-Т	71/3	Карп (4)	68	84	71	40	22	25	78	1,51
		Форель (4)	68	87	80	92	12	–	87	1,65
Мука из хамсы, ПС-Т + НПАВ + NaКМЦ	75/9	Карп (5)	72	86	84	48	20	53	80	1,76

Окончание табл.56

Вид сырья, способ изготовления и срок хранения рыбной муки	Содержание в муке протеина/ липидов, %	Вид рыбы	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы	Минеральные вещества		Энергия	
							сырая зола	фосфор	%	МДж/100 г
Мука из отходов производства филе рыб, ПС-Т										
гранулированная	46/6	Карп (9)	68	75	78	83	8	20	82	1,52
экструдированная	50/6	То же	63	77	63	67	9	7 Э	77	1,42
Коричневая мука, Пр-С	58/9	Карп (10)	48	73	77	Н 8	16	31	59	1,24
Мука из сельди	62/9	Лососевые (6)	85	92	97	–	–	–	91	1,88
Белая рыбная мука	63/7	Карп (7)	–	84–89	–	–	–	–	–	–
		Форель (7)	–	76–92	–	–	–	–	–	–
Коричневая (португальская) рыбная мука	68/9	Форель (8)	89	92	–	–	–	–	94	1,76
Мука из сардин	67/5	То же	78–90	87	–	–	–	–	70	1,30
Рыбная мука (происхождение неизвестно)	–	Форель (7)	–	68–92	–	–	–	–	–	–
		Канальный сом (7)	–	70–86	–	–	–	–	–	–
Белковый концентрат из рыбного бульона	–	Лососевые (6)	90	95	–	–	–	–	94	1,72

Примечания: 1. ПС-Т – прессово-сушильная технология изготовления муки; Э-Т – экстракционная технология; Пр-С – технология прямой сушки; НПАВ – неионногенные поверхностно-активные вещества; Na КМЦ – комплексообразователь.

2. Источники информации: 1 – Shcherbina, Pershina, 1990; 2 – Трофимова, Щербина, 1985; 3 – Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985; 4 – Щербина, Сергеева, Липник и др., 1993; 5 – Щербина, Салькова, неопубликованные данные; 6 – Cho, 1993; 7 – Jauncey, 1995; 8 – Gomes et al., 1995; 9 – Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996; 10 – Щербина, Трофимова, 1982, а также неопубликованные данные.

в нашем распоряжении образцов, поставленных нам в различные годы из разных видов сырья.

В конце 80-х – 90-х годах была обследована мука из атлантической сардинеллы, мойвы, черноморской хамсы, а также полученная из отходов производства филе тресковых. Химический состав образцов колебался в широких пределах. Диапазон относительного содержания сырого протеина составлял 46–75%, липидов – 6–17%, также различалось и содержание других питательных веществ (см. табл. 52). Минимальные показатели переваримости органических веществ имела мука, изготовленная из отходов (кожи, костей, внутренностей, плавников, нестандартной и сорной рыбы). Она оказалась для рыб и наименее удобоваримой. Пищеварительная система карпа могла извлекать из этой муки наименьшие количества протеина (75%), липидов (78%) и только 8% минералов. Наилучшим образом переваривалась мука, приготовленная по прессово-сушильному способу из свежеотловленной атлантической сардинеллы. Переваримость ее протеина достигала 88%, липидов – 92%, фосфора – 61%, энергии – 85% (см. табл. 56). Интересно отметить, что форель оказалась способной извлекать из этой муки в 2,3 раза больше углеводов, чем карп, при близких количествах других веществ.

Более подробная характеристика питательности муки, полученной этим способом, из отдельных видов рыб, будет дана в сопоставлении с образцами муки из тех же видов, но изготовленных иными способами.

Комбинированный прессово-сушильный способ с добавками НПАВ. С середины 70-х годов XX века, когда наш рыболовный флот начал осваивать лов океанических рыб вдали от берегов СССР, возникла необходимость переработки на судовых установках мелких и очень жирных мезопелагических рыб (светящегося анчоуса, сардинеллы, мойвы и других видов). В связи с этим была начата разработка новых технологических способов, направленных на уменьшение содержания жира в муке и его стабилизацию, а также на увеличение ее сроков хранения из-за удаленности производителя от потребителя. В качестве базового варианта в наибольшей степени подходил прессово-сушильный способ.

К началу 80-х годов в АтлантНИРО В.С. Кривич и В.А. Исаев предложили модификацию с добавками НПАВ. Ее сущность – введение в разваривaемую массу сырья неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ) в виде эмульгатора ОС–20*.

Испытания муки, изготовленной этим способом из мойвы, были проведены на карпе, частично на форели и осетровых во ВНИИПРХ, Калининградском ГТУ и АзНИИРХ [Трофимова, Щербина, 1985; Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985]. Контролем служила мука, изготовленная стандартным прессово-сушильным способом. Химический состав продуктов представлен в табл. 52.

В экспериментах с рыбами было выяснено, что присутствие НПАВ в муке, которая хранилась 3 мес., стабилизировало процессы перекисного окисления липидов. Это оказало положительное влияние на пищеварительную деятельность рыб. Переваримость сухого вещества, протеина и жира у карпов и осетров была существенно выше, чем при питании мукой, изготовленной по стандартной ПС-Т технологии. Эффективность использования (или конверсия) белков на их прирост в организме рыб была выше на 20%, энергии – на 35%, сухих веществ – на 20%.

С увеличением сроков хранения до 10 мес. в муке, приготовленной прессово-сушильным способом, кислотное число липидов возросло с 14 до 27. У карпов обнаружены снижение интенсивности пищеварения и резкое сокращение переваримости всех питательных веществ и доступности аминокислот (см. табл. 53, 54, 56).

В связи с накоплением в организме рыб токсичных гидроперекисей основное количество переваренных веществ стало выделяться в неусвоенном виде. Конверсия сухого вещества, протеина и энергии уменьшилась соответственно в 23 и 12 раз. В течение 30 сут. карпы практически не росли (относительный прирост составил лишь 3%).

*ОС-20 применяется в медицине для получения аэрозольных препаратов.

В то же время увеличение продолжительности хранения муки с НПАВ до 10 мес., практически не отразилось на интенсивности роста рыб, показателях переваримости и конверсии протеина, энергии и сухого вещества. Сравнение эффекта применения длительно хранившихся образцов муки показало, что прирост карпов, питавшихся мукой с НПАВ, был выше в 4 раза, чем мукой, приготовленной прессово-сушильным способом. Более активно работала пищеварительная система, а усвоение питательных веществ шло нормально (исключение – снижение доступности фосфора почти в 2 раза). В метаболизме отмечена активизация синтеза белков и липидов.

Результаты рыбоводно-физиологических экспериментов на трех видах рыб, различных по экологии и типу пищеварения, позволили сделать вывод, что модификация прессово-сушильной технологии, заключающаяся в дополнительном введении в цикл процесса неионогенных поверхностно-активных веществ (ОС-20), обладает существенными преимуществами перед стандартной ПС-схемой. Ее использование дает возможность длительно хранить рыбную муку без потери ее питательных свойств.

Модификация прессово-сушильной технологии с использованием комплексообразователей. Модификация ПС-Т, предназначенная непосредственно для переработки черноморской хамсы, имеющей повышенную жирность, проводилась в АзчерНИРО с 1985 г. Она предусматривала решение следующих задач:

– увеличение выхода продукции (по отношению к исходному сырью) за счет введения 0,5% натрий-карбоксиметилцеллюлозы (Na КМЦ), образующей комплексы с белками подпрессового бульона;

– уменьшение содержания жира в муке путем введения в развариваемую массу НПАВ ОС–20 в количестве 0,3–0,4%;

– предотвращение окисления липидов в процессе производства и хранения рыбной муки за счет введения в сырье на стадии его разваривания диспергированного в воде антиокислителя ионола (0,017–0,025%), после стабилизации его НПАВ ОС–20.

При испытаниях на карпе, выполненных во ВНИИПРХ, контролем служила рыбная мука, изготовленная по ПС технологии, стабилизированная ионолом, который в количестве 0,02% вводили в жом в сухом виде.

Совместное введение комплексообразователя, поверхностно–активного вещества и антиокислителя привело к увеличению в муке относительного содержания сырого протеина (с 72 до 75%) и снижению уровня липидов (с 12 до 9%). В липидах преобладали физиологически полезные фосфолипиды, а в составе их полиненасыщенных жирных кислот – ценнейшая докозагексаеновая кислота (22:6n-3) Интересно отметить, что ее количество составляло 17% от общей суммы жирных кислот (см. табл. 55).

Через 10 мес. хранения кислотное число изменилось с 9,6 до 26,3. Вне зависимости от этого пищеварительная система карпов продолжала положительно реагировать на муку, изготовленную по новой технологии. Переваримость белков и липидов осталась высокой (84–86%), а углеводов и минералов за исключением фосфора – недостаточной. В то же время в обмене веществ произошли нежелательные изменения. Обнаружено некоторое обезвоживание прироста при усиленном накоплении пластического материала. Само по себе это явление при хорошем росте рыб считается благоприятным. Однако при испытании модифицированной технологии отмеченное снижение оводненности тканей сопровождалось торможением роста рыб, что может свидетельствовать о быстром старении клеток в результате присутствия в муке токсических агентов. Это обстоятельство не позволило нам охарактеризовать новую технологию производства рыбной муки из черноморской хамсы как полностью завершенную и имеющую существенные преимущества перед стандартной прессово-сушильной технологией.

Прессово-центрифужная технология (ПЦ-Т). Технология разработана ВНИРО применительно к новому виду сырья – мелким мезопелагическим рыбам с высокой жирностью. Она предусматривает измельчение, варку сырья, его прессова-

ние. Отпрессованный твердый остаток направляется на повторное обезжиривание, для чего его смешивают в соотношении 1:1 с обезжиренным бульоном и подвергают центрифугированию. Полученный жом направляют на сушку, бульон – на отделение жира, а затем на упаривание. В результате этих процедур увеличивается выход продукта из исходного сырья и снижается относительное содержание жира.

Партия подопытной муки была изготовлена из предварительно замороженного атлантического светящегося анчоуса с добавлением 0,05% ионола в процессе разваривания сырья. Контроль – мука, выработанная из той же партии сырья в те же сроки, но по ПС-Т и без стабилизации ионолом.

Оба образца муки испытывали на молоди карпа в виде монодиеты и в составе корма ВБС-РЖ. Эксперименты выполнены во ВНИИПРХ.

Мука ПЦ-Т имела более высокий уровень протеина (53 против 48% в муке ПС-Т) и меньший – жира (13 против 20%), больший – золы (10 против 9%) и меньший – фосфора (1,9 против 2,2%). Кислотные и перекисные числа были близкими и находились в пределах нормы. Состав амино- и жирных кислот существенно не различался. Однако в жирах контрольной муки ПС-Т сохранилось несколько больше физиологически важных эйкозапентаеновой (20:5п-3) и докозагексаеновой кислот (22:6п-3). Из перечисленного следует, что обработка светящегося анчоуса по прессово-центрифужной схеме не позволила решить одну из важных технологических задач – снизить содержание липидов в готовом продукте при сохранении качества жиров.

В биологическом плане применение этой технологии привело к неблагоприятным изменениям питательных свойств продукта. По сравнению с вариантом муки ПС-Т произошло снижение переваримости белков и липидов на 11–14%, углеводов – на 31%, минеральных элементов – в 2–4 раза, энергии – на 22%. На уровне обменных процессов в организме рыб выявлено снижение конверсии (эффективности использования) всех веществ и энергии; затраты корма на прирост массы рыб существенно возросли.

В результате было сделано заключение, что рыбная мука, изготовленная из свежезамороженного сырья с повышенной жирностью по прессово-центрифужной схеме, уступает по питательным свойствам муке, изготовленной по традиционной прессово-сушильной технологии.

Центрифужно-сушильная технология в модификации ВНИРО. Технология создавалась для переработки черноморской хамсы, имеющей высокие влажность и содержание жира и поэтому относящейся к слабому, быстро портящемуся сырью. Поиски более совершенных и экономичных, чем прессово-сушильный, способов производства и хранения муки из этого сырья велись длительное время. В результате в середине 80-х годов XX века К.А. Мрачков и Г.А. Папунашвили предложили модификацию центрифужно-сушильной технологической схемы, разработанную для уменьшения жирности муки и предотвращения перекисного окисления липидов в готовой продукции. Для этого в измельченное сырье вводили бикарбонат натрия. В процессе варки в качестве слабого ПАВ добавляли 0,2–0,3% динатрий фосфата (Na_2HPO_4). Отделение влаги вели на центрифуге, сушку жома – в виброкипящем слое на установке А1-ШКС (новый принцип). Для стабилизации жиров сухого жома добавляли антиоксидант дилудин (0,1%). По этой схеме рыбная мука была выработана из замороженной хамсы, хранившейся в холодильнике при температуре минус 18 °С в течение 9 мес. Контролем служила мука, изготовленная из свежей хамсы по ПС-схеме с дилудином.

Испытания были выполнены на карпе во ВНИИПРХ. Продолжительность предварительного периода акклимации составила 15 сут., основного периода – 30 сут.

Установлено, что рыбы, которые питались мукой из замороженной хамсы, сделанной по модифицированной технологии, несмотря на более активное ее потребление, отличались более медленным ростом, чем в варианте с мукой ПС-Т из свежей рыбы. Среднесуточный прирост составил соответственно 0,87 и 0,90% при больших затратах продукта на единицу прироста массы (2,2 против 1,9). Ис-

пытания новой муки в составе комбикорма дали несколько худший результат. Среднесуточный прирост составил 0,63 против 0,78% в контроле, а затраты на прирост – 3,1 против 2,9. Особых изменений в обмене веществ не выявлено.

На основании результатов этих исследований был сделан вывод, что питательные свойства рыбной муки, изготовленной по новой, центрифужно–сушильной технологии из замороженной и хранившейся 9 мес. хамсы, уступают по качеству муке, выработанной по ПС-Т из свежей хамсы.

Экстракционная технология (Э-Т). Оценка питательности рыбной муки, изготовленной по экстракционной и прессово-сушильной технологии, выполнена на карпах и форели [Щербина и др.,1993]. Оба продукта существенным образом отличались по своей питательности для рыб.

Образец муки ПС-Т при полном соблюдении технологии и с введением ионола (0,02%), обладал высокими питательными свойствами как для карпа, так и для форели. Как известно, форель более чутко, чем карп, реагирует на качество и питательность диеты.

При питании рыб этой мукой основные органические вещества очень хорошо переваривались (см. табл. 56). В силу этого переваримость суммы питательных веществ и энергии достигла у обоих видов очень высоких значений (75–77 и 85–88%). Детальные исследования, выполненные на форели, показали, что все аминокислоты, как незаменимые, так и заменимые, достаточно полно извлекались из муки (см. табл. 54). Еще лучше усваивались основные жирные кислоты (80–100%, табл. 57). Исключение составила арахидоновая кислота (53%). Большая часть минеральных соединений находилась в форме, плохо доступной для рыб, в связи с чем зольные элементы утилизировались значительно хуже (34%). Оба вида рыб имели хороший темп роста.

Таблица 57. Состав жирных кислот (% к общей сумме) липидов рыбной муки из атлантической сардинеллы, изготовленной по разным технологиям, и их переваримость у форели, % съеденных с кормом [по М.А. Щербине, Н.Т. Сергеевой и др., 1993]

Жирные кислоты		ПС-Т		Э-Т	
Название	Код	Содержание	Переваримость	Содержание	Переваримость
Насыщенные		26,6	82	36,8	74
В том числе:					
Миристиновая	14:0	6,7	92	6,3	83
Пальмитиновая	16:0	17,4	91	25,1	73
Стеариновая	18:0	1,9	76	4,7	67
Мононенасыщенные		31,9	82	28,2	88
В том числе:					
Пальмитоолеиновая	16:1n-7	8,0	87	7,4	79
Олеиновая	18:1n-9	3,7	87	4,1	75
Эйкозамоноеновая	20:1n-9	11,0	90	10,8	99
Нервоновая	24:1	7,8	89	5,9	100
Полиненасыщенные		41,5	90	35,0	86
В том числе:					
Линолевая	18:2n-6	15,4	91	13,5	85
Линоленовая	18:3n-3	1,8	89	1,8	85
Октадекатетраеновая	18:4n-3	2,7	98	1,6	91
Эйкозатриеновая	20:3n-9	0,8	100	–	–
Арахидоновая	20:4n-6	0,4	53	–	–
Эйкозапентаеновая	20:5n-3	9,5	99	7,1	98
Докозапентаеновая	22:5n-3	0,7	89	0,8	73,5
Докозагексаеновая	22:6n-3	9,9	93	10,2	84
Общие липиды, г/100 г		17,3	94	3,3	80

Экстракционная технология изготовления рыбной муки предусматривала ее обработку растворителями. Это делалось с целью удаления основного количества жира и предотвращения вредных последствий воздействия на рыб токсических продуктов окисления липидов. Однако испытания показали, что питательные свойства муки Э-Т для обоих видов рыб были хуже, чем муки ПС-Т.

Вполне вероятно, что экстракция основного количества жира (около 14%) резко снизила энергетическую ценность муки, а также соотношения белка и энергии и привела к неблагоприятным изменениям в составе жирных кислот (см. табл. 57). В оставшихся жирах муки Э-Т в 1,4 раза возрос общий уровень насыщенных кислот (пальмитиновой – в 1,4 раза, стеариновой – в 2,5 раза).

Относительное содержание незаменимых высоконенасыщенных жирных кислот существенно не изменилось. Однако в связи с уменьшением с 17 до 3% общего количества липидов, абсолютное содержание полиеновых кислот сократилось в 5 раз. Одновременно снизились содержание, переваримость и скор лизина, а уровень зольных элементов возрос с 15 до 18%.

Изменение технологии изготовления муки привело к сдвигам в ее химическом составе, что вызвало у обоих видов рыб сходную реакцию пищеварительной системы. Отмечено резкое снижение переваримости общих липидов (с 92 до71% у карпа и с 94 до 84% у форели, в основном, за счет фракции триацилглицеринов). Резко ухудшилась переваримость минеральной части (с 34 до 22% сырой золы у карпа и с 33 до 12% у форели, фосфора – с 61 до 25%). Это явилось причиной снижения переваримости сухого вещества у обоих видов рыб с 75 до 68%.

На основании изложенного выше был сделан вывод, что рыбная мука Э-Т менее питательна для рыб. Подобное явление наблюдалось нами и при введении муки Э-Т в уменьшенных количествах в состав комбикормов. Важно отметить, что одновременно у обоих видов рыб было установлено пониженное усвоение переваренных веществ и сдвиги в обмене.

У карпа на монодиете из муки Э-Т при общей депрессии роста произошло резкое торможение синтеза липидов. Наличие 18% муки Э-Т в составе комбикорма вызвало у карпа аналогичные, но количественно более выраженные изменения в обмене веществ и росте рыб. Отложение белка и липидов в теле рыб снизилось в 1,6 и 1,8 раза, чем в варианте с мукой ПС-Т.

У форели питание мукой Э-Т привело к большей депрессии роста при одновременном снижении в теле относительного содержания воды и увеличении белка и липидов. Можно говорить, что реакция организма форели на уменьшение содержания жира в корме была противоположной карпу. Однако большее накопление липидов в теле форели сопровождалось неблагоприятными для организма изменениями. Они выразились в увеличении в 1,3–1,5 раза содержания пальмитиновой, стеариновой, олеиновой и линолевой кислот и уменьшении запаса физиологически важных линоленовой, докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислот. Обнаруженные сдвиги в обмене явились отражением изменений состава липидов рыбной муки после обработки ее растворителем.

Несмотря на описанные различия реакция обоих видов рыб на питание мукой Э-Т имела следующие общие тенденции. Они выразились в торможении роста и меньшем накоплении в теле всех органических веществ, а также в более низкой эффективности использования питательных веществ муки на рост рыб.

Изложенное дает основание говорить, что экстракционная технология выработки рыбной муки, предусматривающая обезжиривание с помощью растворителей, оказывает на пищевую ценность продукта отрицательное действие. Оно выражается в резком уменьшении количества липидов, изменении состава жирных кислот в сторону ухудшения их свойств, снижении переваримости у рыб органических и минеральных веществ и корма в целом. Одновременно выявлены неблагоприятные изменения в обмене веществ, которые сопровождались торможением роста рыб.

В то же время изготовление рыбной муки по прессово-сушильной схеме в условиях соблюдения всех элементов технологии подготовки и обработки сырья и его стабилизации ионолом на стадии разваривания позволяет получать высоко-

качественный кормовой продукт, длительно (6–8 мес.) сохраняющий питательные свойства.

Влияние экструзии на питательные свойства рыбной муки. Исследования по изучению влияния экструзии на питательные свойства рыбной муки выполнялись во ВНИИПРХ [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996; 2000]. Рыбная мука была изготовлена из отходов производства филе белых рыб по прессово-сушильной технологии и далее одна партия была подвергнута гранулированию и использовалась в качестве контроля, другая – экструзии. Оценку питательности обоих образцов муки проводили на карпах, предварительно акклимированных к условиям экспериментов. Рыб выращивали на монодиете в течение 30 сут.

По химическому составу, рыбная мука после гранулирования содержала 45,5% сырого протеина, 6,2% жира, 17,6% легкогидролизуемых и 12,4% трудногидролизуемых углеводов, 15,4% золы и 2,9% фосфора. В пищеварительном тракте карпов она перерабатывалась относительно хорошо (см. табл. 53 и 56). Переваримость органических веществ находились в диапазоне 75–83%. Зольные элементы были слабо доступны (8%), фосфор – несколько лучше (20%).

После гидро-баро-термической обработки (экструзии) произошли определенные изменения как в химическом составе муки, так и в ее удобоваримости для рыб. Общее количество углеводов резко снизилось за счет разрушения легкогидролизуемой фракции (с 17,6 до 12,8%). Сократилась не только их переваримость (с 98 до 77%), но и всех углеводов в целом (с 83 до 67%). Неблагоприятные изменения претерпела и липидная часть. При некотором уменьшении общего содержания липидов (с 6,2 до 5,8%) их переваримость снизилась на 19%. Это произошло за счет разрушения энергоемкой пальмитиновой кислоты при одновременном уменьшении ее доступности. Подверглась разложению и незаменимая для карпов арахидоновая кислота. Существенно (на 19%) уменьшилась доступность незаменимых линолевой и линоленовой кислот.

За счет разрушения и убыли углеводов, а также липидов относительное содержание сырого протеина возросло с 45,5 до 50,3%. Гидро-баро-термическая обработка муки усилила денатурацию белков и способствовала некоторому повышению их переваримости (с 75 до 77%). Существенных изменений в доступности аминокислот не отмечено (см. табл. 53). Показатели доступности зольных элементов остались столь же плохими. Фосфор перешел в форму, которая полностью не усваивается рыбами. При этом начался противоположный процесс – выделение обменных фракций фосфора из организма в кишечник и удаление их с экскрементами. В результате всех изменений переваримость рыбной муки, в целом, снизилась с 68 до 63%.

По результатам ростовых экспериментов продуктивные качества рыбной муки после экструзии резко ухудшились: скорость роста карпов сократилась на 19% при увеличении затрат рыбной муки на единицу прироста массы карпов на 30%.

Таким образом, экструзия рыбной муки ПС-Т привела к ухудшению ее питательных свойств. Наряду с обнаруженными изменениями в химическом составе и снижением доступности ее питательных веществ для рыб, по всей вероятности, это обусловлено укорачиванием цепи и сокращением количества двойных связей (десатурацией) полиеновых жирных кислот, разрушением витаминов и других факторов животной пищи. Напрашивается вывод о нежелательности экструдирования комбикормов для рыб с высоким содержанием рыбной муки. Это подтверждается и результатами наших сравнительных экспериментов по испытанию на карпах гранулированных и экструдированных комбикормов даже с относительно низким содержанием (9–16%) рыбной муки.

В заключение раздела, посвященного характеристике питательных свойств рыбной муки в зависимости от технологии ее изготовления, мы имеем основание говорить, что наилучший биологический и физиологический эффект независимо от вида рыб получен при использовании в кормлении рыб муки ПС-Т из свежего сырья с применением антиокислителей, а также по комплексной прессово-сушильной технологии с добавками НПАВ – ОС-20, и антиокислителей. Экструдирование рыбной муки приводит к ухудшению ее кормовой ценности.

3.3.2. Мясокостная мука

При изготовлении комбикормов этот вид муки является наиболее доступным и часто употребляемым сырьем животного происхождения. В процессе ее производства используют непищевое и малоценное в пищевом отношении сырье (внутренние органы, крупные кости, эмбрионы, сухожилия и т.д.). Это сырье получают при переработке всех видов убойного скота и в процессе производства пищевых и технических продуктов на мясокомбинатах. Его разваривают, сушат, измельчают и просеивают. Используют также трупы животных, которые перерабатывают на специально оборудованных для этой цели заводах. Для предотвращения окисления жира вводят антиоксиданты. Обычно мясокостная мука делится на три сорта. Нормы содержания питательных веществ по сортам даны в табл. 58.

Таблица 58. Химический состав мясокостной муки в зависимости от сорта

Показатели	Сорт муки		
	1-й	2-й	3-й
Вода, не более, %	9	10	10
Сырой протеин, не менее, %	50	42	30
Жир, не более, %	13	18	20
Зола, не более, %	26	28	38
Безазотистые вещества и клетчатка, не более, %	2	2	2

В доброкачественной муке кислотное число жира должно быть не более 25 мг КОН/г, перекисное число – не более 0,5% йода (42 ммоль/кг).

Мясокостная мука является хорошим источником витаминов группы В (особенно рибофлавина, холина, никотиновой кислоты и B_{12}). Она – хороший концентрат макро- и микроэлементов (табл. 59). В муке содержится ряд полезных биологически активных веществ (аденозин-трифосфат, креатин, свободная глютаминовая кислота и глютамин мышечной ткани). Кроме того, в ней присутствуют стимулирующие рост и регулирующие обменные процессы вещества (желчные кислоты, соматотропный гормон, кортикостероидные гормоны, тироксин), которые попадают в муку вместе с эндокринными и половыми железами, мозгом, пищеварительными и паренхиматозными органами [Чернышов, Панин, 2000]. В сырье для производства мясокостной муки часто попадают желудки и кишечники жвачных, что может приводить к увеличению в ней уровня сырой клетчатки до 7–9%.

К отрицательным свойствам мясокостной муки, помимо нестабильности состава, относится качество исходных компонентов, обусловленное, в частности, использованием испорченных продуктов. В этих случаях в процессе хранения происходит быстрое развитие токсинообразующей и патогенной микрофлоры: кишечной (E. coli) и синегнойной (Pseudomonas aerugenosa) палочек, Clostridia, Listeria, стафиллококков, сальмонелл, бактерий рода Proteus. Может встречаться и палочка ботулизма (сем. Bacillaceae).

Среди кормовых средств мясокостная мука имеет наибольшую бактериальную обсемененность; обнаруженный максимум – 6,2 млн. микробных клеток в 1 г [Чернышов, Панин, 2000]).

Другой причиной низкого качества муки может быть использование при ее производстве завышенного количества костей. В результате содержание золы может повышаться до 30% и более [Чернышов, Панин, 2000]. К отрицательным свойствам относится и присутствие низкомолекулярных белков (до 8–12% сухого вещества) – протаминов. Их неполноценность заключается в отсутствии незаменимых ароматических аминокислот (триптофана, фенилаланина), а также тирозина и серусодержащих аминокислот. Биологическую ценность белка снижает,

Таблица 59. Примерное содержание основных питательных веществ в сырье животного происхождения (на абсолютно-сухое вещество)

Показатели	Мясокостная мука, сорт			Кровяная мука	Мука из отходов птицы	Мука из пера	Кормовая мука	Мука из отходов кальмаров	Молоко сухое	Обрат сухой	Яичный порошок
	1-й	2-й	3-й								
Валовая энергия, МДж /100 г	2,02	1,95	1,71	2,23	2,06	2,34	3,11	2,24	2,1–2,4	1,90	2,70
Сырой протеин, %	54,9	46,7	33,3	75,0	55,0	86,0	39,0	65,4	25–27	40,2	36,7
Сырой жир, %	14,3	20,0	22,2	2,8	12,0	4,0	6,1	10,7	14–28	1,2	34,6
Углеводы, сумма, %	2,2	2,2	2,3	18,7	14,2	7,3	45,8	14,5	38–54	50,8	25,4
Сырая зола, %,	28,6	31,1	42,2	3,5	18,8	2,7	9,1	9,4	7,2	7,8	3,3
В том числе, мг/100 г:											
Кальций	8165	8945	11538	406	3000	666		510	990	1400	185
Фосфор	4230	4650	5880	374	1700	620		880	913	1100	778
Магний	–	200	–	22		–		280	76	–	
Калий	–	1500	–	440		–		1270	1065	1630	
Натрий	1615	1690	1700	1044		391		1510	300	600	
Железо		5,6		100		8,4		57	4,6	0,9	
Цинк		9,4		5,8		6,5		13,5	2,3	5,1	
Марганец		1,37		0,88		0,13		0,73	0,24	0,20	
Медь		0,17		4,1		0,11		1,38	0,23	1,40	
Йод		0,15		0,1		–		–	0,04	0,01	
Кобальт		0,02		0,01		0,16		–	0,02	0,19	
Витамины, на 100 г:											
А, И.Е.		–							870	–	
Д, И.Е.		–							14	–	
Е, мг		0,11							0,9	1,0	
B_1, мг		0,12							0,27	0,49	
B_2, мг		0,47							1,04	1,51	
B_3, мг		0,40							0,24	3,8	
B_4, мг		200							236	130	
B_5, мг		5,2							1,0	1,2	
B_6, мг		–							–	1,5	
B_8, мг		–				0,02			–	–	
B_{12}, мкг		1,37							3,50	4,60	

Примечания: 1. Источники информации: Нормы и рационы кормления..., 1985; Содержание питательных веществ..., 1985; Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985; Сергеева, Нефедова, 1987, 1989 и др.

2. Отсутствие цифр по некоторым показателям означает, что нет данных.

кроме того, присутствие значительных количеств плохо переваримых фибриллярных белков (коллагена, кератина, элластина), свойственных ряду тканей (соединительной, покровных и защитных). Помимо специфичности их состава, выражающейся в преобладании определенных заменимых аминокислот, они устойчивы к действию протеолитических ферментов, что изначально предполагает пониженную переваримость и питательную ценность белкового комплекса мясокостной муки.

Таблица 60. Коэффициенты переваримости основных питательных веществ и энергии некоторых видов сырья животного происхождения у различных видов рыб, % от съеденного

Вид сырья и способ изготовления муки	Вид рыб	Сухое вещество	Сырой протеин	Сырой жир	Углеводы	Минеральные вещества		Энергия	
						Зола	Фосфор	%	МДж/100 г
Мясокостная мука:									
гранулированная	Карп (1)	49	64	78	44	24Э	–	63	1,33
экструдированная		61	79	72	57	18	–	72	1,42
Мясокостная мука гранулированная	Форель (2)	78	85	73	–	–	–	85	1,50
Мясокостная мука машинного прессования	Форель (3)	94	91	–	–	–	–	92	1,80
Мясокостная мука	Форель (6)	33	79	27	–	9		53	0,69
Мука из отходов производства филе кальмаров ПС-Т	Карп (4)	76	86	94	38	39	85	82	1,84
	Форель (9)	77	84	89	76	44		84	1,88
Крилевая мука ПС-Т	Карп (5)	42	63	81	35	17Э	18	52	1,03
	Форель (6)	74	90	93	69	41	–	83	1,65
Кровяная мука Пр-С	Карп (2; 7)	–	61–71	–	–	–	–	–	–
	Форель (2; 7)	55	16–40	–	–	–	–	–	–
	Канальный сом (2; 7)	–	23–47	–	–	–	–	50	1,09
Кровяная мука распылительной сушки	Форель (3)	91	99	–	–	–	–	89	1,94
	Форель (10)	60	82	95	40	–	–	75	2,07
Мука из отходов переработки птицы	Форель (2)	52	68	79	–	–	–	71	1,39
Мясо-перьевая мука	Карп (7)	–	90	–	–	–	–	–	–
	Форель (7)	–	62	–	–	–	–	–	–
Перьевая мука	Форель (2)	75	58	–	–	–	–	70	1,57
	Карп (11)	47	45	27	77	82Э	50	46	1,06
Прадикон	Карп (12)	65	85	78	1,2	60	32	69	–
Яичный порошок	Карп (8)	69	79	84	63	39Э	40	84	2,28
Сухое молоко	Карп (8)	71	78	79	78	14	50	78	1,59
Молочная сыворотка сухая	Форель (2)	97	96	–	–	–	–		

Примечания: 1. ПС-Т – прессово-сушильная технология; Пр-С – прямая сушка; Э – превышение экскреции эндогенных обменных фракций минералов над резорбцией алиментарных. 2. Источники информации: 1 – Щербина и др., 1996; 2 – Cho, 1993; 3 – Gomes et al, 1995; 4 – Щербина, Трофимова, 1986 (первая публикация); 5 – Салькова и др., 1987; 6 – Сергеева, Нефедова, 1987; 7 – Jauncey, 1995; 8 – Щербина и др., 1985; 9 – Сергеева, Нефедова, 1989, 10 – Трямкина, 1977; 11 – Щербина и др., 2004; 12 – Салькова, Щербина, Гамыгин, 2001.

Это положение подтверждают наши эксперименты по оценке питательности мясокостной муки в кормлении карпов [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996].

При содержании карпов на монодиете из мясокостной муки (2-го сорта), выработанной способом сухого прессования, переваримость сырого протеина (содержание 43%) составила всего 64% (табл. 60). Доступность незаменимых аминокислот была еще ниже – в среднем 58% (диапазоны 50–64% (см. табл. 53). Расчеты скоров аминокислот показали, что белок мясокостной муки способен удовлетворить потребность рыб только наполовину (скоры первых лимитирующих аминокислот фенилаланина и изолейцина соответственно 49 и 51%).

Липиды (содержание 15%) имели состав жирных кислот, характерный для теплокровных животных: 40% насыщенных, 44% мононенасыщенных и 16% полиненасыщенных (при отсутствии в составе последних пента- и гексаеновых (см. табл. 55). Их общая переваримость была существенно выше, чем сырого протеина, – 78%. Углеводы оказались наименее доступной частью органики – 44%. Поступление минеральных элементов (13% сухого вещества) сопровождалось экскрецией в пищеварительный тракт эндогенных минералов в количестве 25% полученных с кормом. Переваримость муки, в целом, была 49%, энергии – 63% (см. табл. 60).

Ростовой эффект при питании карпов мясокостной мукой оказался неадекватным как общему содержанию сырого протеина, так и скорам лимитирующих аминокислот. Затраты муки на 1 кг прироста рыб оказались неоправданно большими (8 кг сухого вещества и 3,5 кг сырого протеина). Все это свидетельствует не только о низкой питательности белков и дисбалансированности минеральной части, что нередко встречается одновременно, но и о сохранении в муке, подвергнутой сухому прессованию, термоустойчивых антипитательных агентов.

Гидробаротермическая обработка муки привела к разрушению липидов (на 20%) и трудно ферментируемого комплекса углеводов (на 40%). Это сопровождалось повышением относительного содержания минералов с 14 до 17% и снижением энергетической обеспеченности с 2,11 до 1,97 МДж/100 г. Питательные вещества стали более доступными для карпов (см. табл. 60). Общая переваримость возросла на 20% в основном за счет резкого увеличения переваримости сырого протеина (на 19%), углеводов (на 29%) и перехода значительной части минералов в доступную форму. В благоприятную сторону изменилась доступность аминокислот. В целом по 17 незаменимым и заменимым аминокислотам она возросла с 60 до 80%, приблизившись к доступности высокопитательных белков (см. табл. 53).

Показатели доступности для лимитирующих кислот возросли с 51–55% до 80–81% и степень удовлетворения потребностей рыб даже в этих случаях возросла до 70–83%.

После экструзии мясокостная мука как источник пищи стала для карпов более привлекательной и ее продукционный эффект резко возрос. Прирост рыб, питавшихся экструдированной мукой был большим, чем в варианте с гранулированной мукой, в 1,6 раза. Одновременно отмечено снижение затрат корма на прирост 1 кг массы до 70%. Столь высокий эффект экструзии во многом связан с изменениями физико-химических свойств мясокостной муки, в частности с модификацией белковых и углеводистых компонентов, уничтожением микрофлоры, а также с разрушением антипитательных факторов и токсинов.

Сведения о питательности гранулированной мясокостной муки для форели неоднозначны. Ее переваримость варьирует в очень широких пределах – 33–94%. Это связано не только с качественным составом муки, но и с технологией ее изготовления, о чем наглядно свидетельствуют данные табл. 60. По сравнению с карпами у форели доступность сырого протеина и особенно аминокислот мясокостной муки, подвергнутой сухому прессованию, выше (см. табл. 54). Это обусловлено наличием желудка, в котором пища подвергается обработке соляной кислотой, и пилорических придатков, где идут активные процессы переваривания белка и резорбции аминокислот [Щербина, 1984]. Экструзия мясокостной муки также способствует повышению ее питательности для форели.

Ориентировочные нормы ввода мясокостной муки в комбикорма для различных видов рыб представлены в табл. 7 Приложения.

3.3.3. Кровяная мука

Продукт изготавливается из специфической ткани животных – крови, к которой добавляются фибрин, шлам и ряд других отходов боен мясокомбинатов. Переработка сырья ведется на различных установках способами прямой или распылительной сушки. При прямой сушке мука приобретает темный цвет и пониженную питательность.

Кровяная мука относится к высококонцентрированным источникам белка (70–83%), общее содержание липидов колеблется в диапазоне 2,5–6%, минеральных элементов – 3–10%.

В составе белков преобладает фракция альбуминов (~ 60%), на долю глобулинов приходится 20–35%. Однако состав незаменимых аминокислот по отношению к потребностям рыб дисбалансирован. Например, для карпа, согласно табл. 53, первой лимитирующей аминокислотой считается изолейцин (скор 25%), далее идут метионин (38%) и аргинин (55%). Для форели лимитируют те же аминокислоты (табл. 54), но несколько в ином порядке: метионин (скор – 34%), изолейцин (46%), аргинин (61%). Наряду с этим в белках чрезвычайно высок уровень гистидина (около 5%), что в 1,8–3,0 раза превышает потребность рыб. Подобное не встречается ни в одном из других видов животного и растительного сырья. Избыток гистидина при попадании в организм служит источником для образования гистамина – соединения, обладающего сильно выраженными токсическими свойствами.

Высокий уровень гистидина в кровяной муке обусловлен структурой гемоглобина. Его молекула состоит из белка глобина и четырех молекул гема, который имеет в своем составе четыре молекулы гистидина и один атом 2-х валентного железа. Последним объясняется и богатство кровяной муки железом (900–1000 мг/кг), однако оно трудно усваивается в организме животных.

К другим недостаткам муки относится ее быстрая обсеменяемость микроорганизмами, что способствует развитию патогенной микрофлоры и образованию токсических веществ.

При изготовлении комбикормов продукт проявляет адгезивные свойства, склеивая сыпучие частицы, придавая прочность гранулам. Это делает кровяную муку привлекательным компонентом при изготовлении водостойких кормов для рыб.

Диапазон включения кровяной муки в корма для лососевых и других хищных рыб достаточно широк – 2–30% [Jauncey, 1995]. В среднем норма ее включения в комбикорм составляет 5–10%. Рекомендуемая доза кровяной муки в корма для форели – 5% [Скляров и др., 1984].

В то же время сведения о специфических питательных свойствах кровяной муки для рыб крайне ограничены. Поэтому большой интерес представляют исследования, выполненные во ВНИИПРХ С.П. Трямкиной [1977].

Эксперименты проводились на двухлетках радужной форели, которых выращивали в течение 20 суток на комбикорме, содержащем рыбную, кровяную, пшеничную муку, гидролизные дрожжи, фосфатиды и витаминный премикс. В состав этой смеси кровяная мука вводилась в количестве 10%. Для оценки ее питательных свойств испытуемый компонент комбикорма полностью замещался инертным веществом, не обладающим собственной питательностью [Щербина, Трямкина, 1975]. В данном случае это была окись хрома (Cr_2O_3).

Результаты экспериментов по определению у форели коэффициентов переваримости питательных веществ показали, что исключение из кормосмеси кровяной муки существенным образом отразилось только на показателях доступности легкогидролизуемых углеводов (табл. 61). По всей вероятности, это было вызвано исключением из диеты легкоусвояемой глюкозы крови, и соответствующим увеличением трудногидролизуемых фракций углеводов других компонентов корма, что является известной адаптацией организма рыб к изменению состава угле-

водов диеты [Щербина, 1980, 1984]. Коэффициенты переваримости других веществ – сырого протеина и липидов, практически не претерпели изменений. Однако общее количество переварившихся у форели веществ, и особенно белка, в связи с обеднением химического состава кормов существенно сократилось (см. табл. 61).

Таблица 61. Химический состав и переваримость кормов у двухлеток радужной форели (по Трямкиной, 1977)

Показатели	Корм с кровяной мукой			Корм без кровяной муки		
	Содержание, % сухого вещества	Переварено		Содержание, % сухого вещества	Переварено	
		% съденного	г из 1 кг корма		% съеденного	г из 1 кг корма
Сухое вещество	100	59,5	595	100	49,1	491
Сырой протеин	38,7	83,0	321	29,5	84,1	248
Общие липиды	12,2	95,1	116	13,1	96	119
Углеводы:						
легкогидролизуемые	17,1	45,5	78	16,5	33,6	55
трудногидролизуемые	14,2	31,5	45	9,5	50,4	48
Энергия, МДж/100 г	1,95	74,3	1,45	1,67	74,0	1,24

В связи с этим исключение кровяной муки можно было бы расценивать как неблагоприятный фактор. В то же время, если проанализировать данные табл. 62, можно говорить об обратном.

При близких значениях накопления массы у рыб, питавшихся кормом без кровяной муки (и с пониженным содержанием белка), накопление белка в теле было большим на 42%, липидов – на 17%, сухого вещества – на 18%, и меньшее на 8% – воды.

Описанный эффект был достигнут, как это видно из табл. 63, при больших (на 6%) затратах сухого вещества корма и меньших (на 15%) его переваримой части, меньших затратах валового (на 20%) и переваримого (на 18%) протеина, а также энергии (на 10%). Затраты белка на 1 кг прироста массы рыб были, соответственно 660 и 530 г, а его переваримой части – 550 и 450 г. Расчеты коэффициентов эффективности использования питательных веществ кормов на прирост массы рыб показали, что из общего количества белка, съеденного с кормом, содержащим кровяную муку, в организме рыб отложилось только 13% валового и 15% переваримого, тогда как при исключении кровяной муки значения были бóльшими в 1,8 раза. Это означает, что наличие в комбикорме 10% кровяной муки снизило эффективность конверсии белка в организме форели, а следовательно, и его питательные свойства почти в 2 раза.

Отложение сухого вещества корма в организме рыб, если рассматривать его относительно прироста массы, было бóльшим при питании кормом без кровяной муки на 14% в валовых и на 32% в переваримых веществах, по отношению к приросту сухого вещества в теле рыб – соответственно на 21 и 60%.

Таким образом, присутствие в корме кровяной муки в количестве 10% оказало четко выраженное отрицательное действие на организм двухлеток радужной форели. Ее адекватная замена инертной окисью хрома, несмотря на снижение общего количества белка с 39 до 30%, сняла ингибирующий эффект и резко активизировала белковый и липидный обмены при одновременном повышении в организме уровня конверсии всех питательных веществ.

О неблагоприятном воздействии больших количеств кровяной муки на организм карпа свидетельствуют данные А.Н. и Л.Н. Корнеевых [1968]. Отмечены торможение темпа роста и снижение эффективности использования протеина корма в 1,5–2,0 раза.

Таблица 62. Накопление веществ и энергии в теле двухлеток форели, питавшихся кормами, содержащими кровяную муку и не содержащими ее (на 100 г первоначальной массы) (по Трямкиной, 1977)

Вариант питания рыб	Масса, г	Вода, г	Сухое вещество, г	Сырой протеин, г	Общие липиды, г	Энергия белка и жира, кДж
Корм с кровяной мукой	45,8	31,3	15,4	3,8	6,4	346
Корм без кровяной муки*	46,0/100,4	28,9/92	17,1/118	5,4/142	7,5/117	427/124

*За чертой – % к корму с кровяной мукой.

Примечание. Накопление (Н) г/100 г массы рыб до опыта = $(M_tP_t - M_0P_0)/M_0$, где M_0, M_t и P_0, P_t – соответственно масса рыб (г) и содержание питательного вещества в теле рыб (%) или энергии (кДж/100 г) в начале и конце опытов.

Таблица 63. Затраты кормов, содержащих кровяную муку и не содержащих ее, и эффективность использования (конверсия) их питательных веществ в приросте форели

Показатели	Корм с кровяной мукой				Корм без кровяной муки			
	Затраты на прирост 1 кг массы, кг, МДж		Конверсия, %		Затраты на прирост 1 кг массы, кг, МДж		Конверсия, %	
	валовые	переваримые	валовые	переваримые	валовые	переваримые	валовые	переваримые
Сухое вещество	1,70	1,04	55/19*	96/30*	1,80	0,88	63/23*	127/48*
Сырой протеин	0,66	0,55	12,6	15,1	0,53	0,45	23	27
Энергия	32,9	24,5	23	31	29,8	22,0	33	44

*Перед чертой – по отношению к приросту массы, за чертой – по отношению к приросту сухого вещества в теле рыб.

Примечание. Конверсия = $(M_tP_t - M_0P_0)/Ск$ (%), где Ск – количество корма, потребленного одной рыбой, или отдельных питательных веществ и энергии, М и Р – как в табл. 62.

Отрицательное влияние кровяной муки нельзя связать только с пониженной переваримостью ее белка, как это полагают для сельскохозяйственных животных [Чернышев, Панин, 2000]; у рыб она достаточно высокая. Более веская причина – дисбалансированность аминокислотного состава. Организм вынужден использовать значительную часть пластического материала и энергии на разложение белка, деструкцию и выведение избыточных количеств незаменимых аминокислот, а также удаление продуктов их распада. Другая причина – наличие в продукте, а также возможное образование в питающемся организме больших количеств гистамина. Это токсичное соединение синтезируется в почках и крови после декарбоксилирования избыточного гистидина в печени. Его накопление в организме приводит к нарушению регуляции различных процессов, проявлению многих патологических (в частности, аллергических и воспалительных) реакцией. Кроме того, известно [Чернышев, Панин, 2000], что кровяная мука может содержать и другие вредные продукты обмена убитых животных, находящиеся в их крови.

Все описанное дает основание считать целесообразным введение кровяной муки в комбикорма для рыб в ограниченных количествах (около 5%) и при обязательном учете аминокислотного состава компонентов. Теоретически благоприятным можно считать сочетание кровяной муки с перьевой и растительными компонентами (см. табл. 8 Приложения).

3.3.4. Перьевая мука

Вырабатывается из перьев неводоплавающей птицы. Основу муки, как и цельного пера, составляют кератины – белкоподобные вещества, которые относятся к склеропротеинам. Их главный компонент – фибриллярные нити, обладающие высокой прочностью и в нативном виде не поддающиеся действию пищеварительных ферментов животных. Поэтому без предварительной обработки они не пригодны для скармливания животным.

Наиболее действенным способом переработки пера в кормовой продукт первоначально считался гидролиз в автоклаве со слабыми кислотами или щелочами под высоким давлением. В дальнейшем при изготовлении муки перо стали обрабатывать в экструдерах.

Относительное содержание питательных веществ в готовом продукте может меняться в зависимости от вида пера и технологии изготовления. Встречаемый диапазон сырого протеина составляет 79–97%, общих липидов – 2–7%, углеводов – 7–14%, золы – 1,7–8%.

Достоинство белковой части перьевой муки – высокое содержание цистина и метионина – серосодержащих аминокислот, обычно лимитирующих или дефицитных в основных видах комбикормового сырья. Недостаток – плохая переваримость белка в целом. По различным сведениям, полученным in vitro, она находится в пределах от 37 до 49%. В связи с этим переваримость продукта в целом колеблется в диапазоне 45–58% [Барта и др., 1984]. Другие отрицательные особенности белков – очень низкое содержание и плохая доступность таких незаменимых аминокислот, как лизин и гистидин и некоторых других (см. табл. 53). В результате возникает резкий дисбаланс, т.е. несоответствие количественных соотношений аминокислот потребностям в них животных. Содержание в белке гистидина – первой лимитирующей аминокислоты – как минимум в 9 раз меньше требуемого для организма карпа, лизина – в 7 раз, фенилаланина, лейцина и изолейцина – в 1,8–1,5 раза.

В наших экспериментах с экструдированной перьевой мукой [Щербина, Гамыгин, Першина, Салькова, 2004] ее переваримость у карпов имела низкие значения (см. табл. 60). Для основного компонента – белка, она колебалась около 45%. Небольшое количество липидов (4,4%) доступно рыбам только на 27%. В отношении зольных элементов отмечено сильное превышение экскреции их эндогенных фракций над резорбцией алиментарных. Это свидетельствует о несоответствии количественного состава минеральных элементов муки потребностям в них рыб. Переваримость общей суммы питательных веществ и энергии перьевой муки у карпа также невелика (46–47%). Эти данные близки к сведениям, приводимым для сельскохозяйственных животных [Чернышев, Панин, 2000].

Метаболический эффект питания карпа кормом на основе перьевой муки выразился в торможении роста при резком обезвоживании прирастающей массы и организма в целом (табл. 64).

Таблица 64. Накопление веществ и энергии в теле молоди карпов, питавшейся кормами с перьевой мукой и без нее

Вариант питания	Накопление г, кДж/100 г первоначальной массы								
	Масса	Вода	Сухое вещество	Органические вещества				Зольные элементы	Энергия
				Сырой протеин	Общие липиды	Углеводы	Сумма		
Перьевая мука 70%, пшеница 30%	8,5	1,7	6,8	4,3	3,0	–0,5*	6,1	0,7	204,6
Комбикорм, содержащий 4% рыбной муки (контроль)	15,2	7,4	7,8	3,4	2,9	0,3	6,6	1,2	201,7

*Знак минус – потери углеводов, содержавшихся в теле рыб до начала опыта

Это отрицательное воздействие является следствием нарушения процессов осморегуляции. Обезвоженное состояние тканей указывает на угнетение анаболизма и преобладание процессов катаболизма, вследствие чего происходят старение и разрушение клеток. Описанные явления отмечены на фоне пониженной эффективности использования белка и остальных питательных веществ на рост рыб. Иллюстрацией служат сведения о скорости роста молоди карпов, интенсивности ее питания и затратах корма на единицу прироста массы (табл. 65).

Анализ совокупности приведенных данных относительно питательности для карпов перьевой муки, изготовленной с применением экструзии, дает основание признать, что ценность ее как высокобелкового компонента комбикормов для рыб невелика. Это связано не только с плохой переваримостью всех питательных веществ, и в частности сырого протеина, но и с резкой дисбалансированностью для рыб ее аминокислотного состава.

Определенный для карпа скор доступного гистидина составил 11%, лизина – 14%, фенилаланина – 56%, изолейцина – 65%. В этих условиях, согласно закону "минимума", ценное положительное свойство перьевой муки – высокое содержание цистина и метионина, обычно дефицитных в комбикормовом сырье, перекрывается недостаточностью гистидина и лизина. Подтверждение – описанный ростовой и метаболический эффект выращивания карпов на рационе с преобладанием (70%) перьевой муки (см. табл. 64 и 65).

Таблица 65. Сравнительные данные о количестве протеина в кормах, содержащих перьевую муку и не содержащих ее, результаты выращивания карпов (% к контролю)

Вариант питания	Содержание сырого протеина в корме, % сухого вещества	Среднесуточная скорость роста рыб (Cw, %)*	Среднесуточный рацион рыб	Затраты корма на прирост массы рыб
Перьевая мука 70%, пшеница 30%	58,4	71	96	134
Пшеница (100%)	12,1	75	104	136
Комбикорм, содержащий 4% рыбной муки (контроль)	27,9	100	100	100

*$Cw = 200\ (M_1-M_0)/(M_0+M_1)t$, где M_0, M_1 – средняя масса рыб в начале и конце периода, t – период,сут.

Для других рыб мы обнаружили только фрагментарные данные, касающиеся форели. Их приводит в обзорной работе Чо [Cho, 1993]. Согласно им, переваримость сырого протеина высококачественной перьевой муки у форели выше, чем у карпа, и составляет 58%. Переваримость сухого вещества достигала 75%, энергии – 70% (см. табл. 60). Это увеличение произошло за счет лучшей переваримости углеводов. Кроме того, есть вероятность, что различия в реакции карпа и форели связаны с особенностями пищеварения этих видов рыб. По сведениям, приведенным в обзоре С. Владовской [2002], введение в корм африканского сома гидролизованной перьевой муки также вызывало значительное снижение темпа роста рыб, причем тем большее, чем большее количество рыбной муки заменяли перьевой.

Представленные данные дают основание полагать, что использование в кормлении рыб перьевой муки, выработанной с применением экструзии, будет целесообразным в малых количествах (4–7%) при сочетании с сырьем, бедным серусодержащими аминокислотами, но богатым лизином и гистидином (например, с продуктами переработки сои, кормовыми дрожжами, кровяной мукой).

3.3.5. Крилевая мука

Криль, в частности антарктический (Euphausia sup. Dana), относится к морским планктонным ракообразным. Мука вырабатывается из свежевыловленного или замороженного криля либо по технологии прямой сушики на рыбомучных установках, либо по прессово-сушильной технологии. Питательная ценность крилевой муки по химическому составу достаточно высока. В зависимости от сроков и места вылова криля она может содержать 38–62% сырого протеина, 6–16% жира, 20–45% углеводов (в основном хитина), около 10% минеральных веществ, витамины группы В, каротиноиды, макро- и микроэлементы, что дает 2–3 МДж/100 г энергии. Имеет высокое содержание каротиноидов (до 200 мг/кг астаксантина против 76 у крабов и 137 мг/кг у раков). Количественное соотношение незаменимых аминокислот благоприятно для рыб. Обнаружен высокий уровень лизина

и метионина. Для карпов слабо лимитирует валин (см. табл. 53). Его недостаток может быть легко устранен введением в корм растительных компонентов.

В составе ее липидов (табл. 55) содержится около 25% насыщенных жирных кислот (в основном 19% энергоемкой пальмитиновой), 35% мононенасыщенных (из них 21% олеиновой) и около 40% полиненасыщенных. В группе полиненасыщенных немногим более половины приходится на физиологически важную для рыб эйкозапентаеновую кислоту, этим жиры криля выгодно отличаются от жиров других видов сырья животного происхождения.

Без стабилизации муки антиокислителями существует высокая вероятность быстрого окисления высоконенасыщенных жирных кислот и образования токсичных перекисей. Это обстоятельство не позволяет использовать в корм рыбам крилевую муку прямой сушки длительного срока хранения. После обработки криля по прессово-сушильной технологии часть жира удаляется, и срок хранения муки увеличивается. Однако при этом из продукта выводятся легкоплавкие липиды, в основном высокопитательные полиненасыщенные жирные кислоты и жирорастворимые витамины. Как следствие, снижается ее пищевая ценность.

Результаты испытаний муки ПС-Т [Салькова, Щербина, Генералова, 1987] показали, что доступность для карпов общей суммы ее питательных веществ близка к 42% (см. табл. 60), т.е. существенно ниже, чем рыбной муки. Причины – низкая (35%) переваримость углеводов, что связано с отсутствием в кишечнике карпа хитиназы, наблюдаемая экскреция эндогенных минералов через кишечник и плохая переваримость сырого протеина (63%). В то же время при изучении интенсивности всасывания и скоров аминокислот (см. табл. 53) установлено, что доступность для рыб суммы 17 основных протеиногенных аминокислот существенно выше и составляет 84%. При этом показатели доступности отдельных кислот колеблются в диапазоне 79–89%. Исключение составляют валин со скором 69% и гистидин (скор 73%). Их недостаток легко нивелируется при введении в комбикорма растительных компонентов. Установленный факт значительного несоответствия коэффициента переваримости сырого протеина (63%) крилевой муки и доступности суммы ее аминокислот (84%), как правило, свидетельствует о плохой доступности для животного организма небелкового азота.

У форели, в желудке которой пища переваривается сначала в кислой, а затем в щелочной среде, степень извлечения питательных веществ из крилевой муки существенно выше (см. табл. 54 и 60). Коэффициенты переваримости сырого протеина и жира 90–93%, углеводов – 69%, зольных элементов – 41%. Доступность незаменимых аминокислот – 91–96% за исключением фенилаланина (56%). Поэтому в комбикормах для форели благоприятны сочетания крилевой муки со злаковыми (исключение – ржаные отруби) и с основными жмыхами и шротами.

Важным достоинством крилевой муки, как было указано выше, является высокое содержание каротиноидов, преимущественно астаксантина. А. Канидьев с сотрудниками [1979] отмечали стимуляцию роста и снижение кормовых коэффициентов у радужной форели при замене в продукционных комбикормах части рыбной муки на крилевую. В кормах для производителей форели замена 10–40% (оптимум 30%) рыбной муки на крилевую приводила к улучшению качества половых продуктов и благоприятно сказывалась на жизнестойкости и скоростях роста личинок и ранней молоди [Сычев и др.,1981; Шабалина и др., 1979, 1981]. По данным Л. Котик с сотрудниками [1979], окраска тканей форели находилась в прямой связи с количеством муки в рационе и длительностью питания им рыб. Максимальный эффект обнаружен у трехлеток через 4 месяца при содержании в корме 30% крилевой муки. Хороший продукционный эффект отмечен и при включении ее в ограниченных количествах в продукционные комбикорма для прудового карпа или для молоди, выращиваемой в садках на теплых водах [Остроумова, 1976; Слепнев и др., 1977].

Рекомендуемые нормы ввода крилевой муки в комбикорма для различных видов рыб даны в табл. 7 Приложения.

3.3.6. Кальмаровая мука

Для изготовления муки используются мелкие и поврежденные кальмары, головы, внутренности, при этом применяется модификация прессово-сушильной технологии.

По химическому составу кальмаровая мука близка к высококачественной рыбной, но имеет ряд отличий, касающихся прежде всего липидной, углеводной и минеральной составляющих.

В продукте много сырого протеина – 65% (см. табл. 59). Три четверти его приходится на долю белка. Количественные соотношения незаменимых аминокислот в сухом веществе близки к потребностям лососевых и карповых рыб (см. табл. 53 и 54). На общую фракцию липидов приходится около 11%. В составе жирных кислот преобладают физиологически необходимые, особенно для холодноводных лососевых рыб, высоконенасыщенные кислоты – 41% (см. табл. 55). В частности, на долю дефицитной в обычном сырье эйкозапентаеновой кислоты (20:5n-3) приходится 13%, докозагексаеновой (22:6n-3) – 19,5%. Наличием их в таких количествах кальмаровая мука выгодно отличается и от рыбной. На долю углеводов приходится 15%, что в 1,5–2,0 раза превышает их содержание в рыбной муке. Зольных элементов 9–12%. В их составе преобладают натрий и калий (1,5–1,2%), фосфора меньше – 0,9%. Из микроэлементов в кальмаровой муке по сравнению с другими видами сырья очень много железа, цинка и меди.

Кальмаровая мука как возможный компонент комбикормов прошла испытания в совместных исследованиях ВНИИПРХ и Калининградского ГТУ. Оценка питательности продукта велась на двух видах рыб – карпе и форели [Сергеева, Нефедова, 1987, 1989; Щербина и др., 1986, первая публикация].

При испытаниях кальмаровой муки в монодиете и в составе комбикормов было установлено, что основные питательные вещества муки достаточно хорошо переваримы у обоих видов рыб, несмотря на их различия в строении и функциональных особенностях пищеварительных систем. Коэффициенты переваримости сырого протеина (см. табл. 60) достигали у безжелудочных карпов 86%, у форели, имеющей желудок и пилорические придатки, – 84%. Значения доступности незаменимых аминокислот для форели очень высоки, и диапазон их колебаний относительно невелик – 84–93% (см. табл. 54). Показатели скоров аминокислот (75–145%) указывают на высокое качество белка и благоприятность сочетания кальмаровой муки с подавляющим числом растительных компонентов. Общие липиды перевариваются достаточно полно – 89–94%, причем, доступность основных (по содержанию) жирных кислот, и в частности, линоленовой, эйкоза- и докозапентаеновой, а также эйкозагексаеновой предельно высока – 90–100%. Очень плохо усваиваются кислоты линолевого ряда: линолевая – 21%, арахидоновая – 64%. По всей вероятности, последнее вызвано пониженной потребностью холодноводной форели в кислотах n-6 ряда (см. табл. 9). Хрящеподобные углеводы кальмаровой муки у форели перевариваются хорошо (на 76%); у карпа из-за отсутствия солянокислого пищеварения - значительно хуже (38%). Переваримость минеральных веществ кальмаровой муки намного меньше, чем белков и липидов: у карпа – 39%, у форели – 44%. Однако эти показатели существенно выше по сравнению с другими видами сырья, особенно растительного происхождения. Коэффициенты переваримости сухого вещества достигают очень высоких значений – 76–77%, энергии – 82–84%.

В то же время *усвоение* переваренных веществ у рыб обоих видов идет плохо как в экспериментах с монодиетой, так и при высоких дозировках в комбикормах, что приводит к торможению роста. Коэффициенты эффективности использования (конверсии) корма очень низки. Возможная причина – присутствие не изученных нами антипитательных факторов. К ним может быть отнесен гистамин, который при посмертном автолизе во время накопления отходов перед их переработкой образуется в относительно больших количествах. Как указывалось выше, его повышенное содержание в пище вызывает различные патологии, ухудшающие физиологическое состояние животных [Чернышов, Панин, 2000].

При ограничении ввода кальмаровой муки ее положительные свойства перекрывают отрицательные. Диапазон оптимальных доз этого продукта в комбикормах для обоих видов находится в пределах 10–20%.

В оптимальных количествах мука из кальмаров вызывает благоприятные для организма рыб изменения в обмене веществ: у форели повышается общая резистентность, у карпа – усиливается темп роста при снижении затрат корма.

В заключение следует сказать, что мука из отходов производства филе кальмаров, изготовленная по прессово-сушильной технологии, в комбикормах для рыб может служить заменителем рыбной муки или использоваться как самостоятельный высокопитательный компонент с ограничением ввода до 20%.

3.3.7. Сухое молоко, обрат и сыворотка

Эти компоненты представляют собой цельное или "снятое" после отделения сливок молоко (обрат), высушенное на распылительных сушилках. Продукты различаются в основном по уровню сырого протеина – 25–27% в молоке и до 40% в обрате, а также липидов – соответственно от 14 до 28% и от 0,5 до 1,2%. Основу протеина (до 80%) составляет полноценный фосфорсодержащий белок – казеин. Оба продукта содержат до 50% молочного сахара – лактозы. Зольные элементы составляют 7–8%. Среди них преобладают кальций, фосфор и калий (см. табл. 59).

Органические вещества сухого молока для карпа доступны достаточно хорошо (см табл. 60). Коэффициент переваримости сырого протеина, липидов и углеводов 78–79%. Минеральная часть усваивается значительно хуже: фосфор – на 50%, а сумма зольных элементов – лишь на 14%. С последним связана более низкая переваримость общей суммы питательных веществ – 71%.

К положительным качествам сухого молока относится способность его казеина связывать некоторые яды, что делает желательным его присутствие в комбикормах для молоди рыб, к отрицательным – во-первых, достаточно быстрое образование продуктов перекисного окисления липидов (прогоркание); во-вторых, сильная денатурация белка (до 50%) в результате продолжительной термической обработки, сопровождающаяся образованием комплексов лизина с лактозой. В результате возникают соединения, которые слабо поддаются расщеплению пищеварительными ферментами. Все это снижает пищевую ценность белка и его доступность для организма животных. В то же время белки молочной сыворотки у форели перевариваются почти полностью – на 96%.

Сухая сыворотка, получаемая после выработки из молока творога, несмотря на практически полное удаление казеина, также содержит биологически ценный протеин. Он представлен в основном альбуминами и глобулинами. Служит хорошим источником минеральных веществ. Питательные и биологически активные вещества сухой сыворотки легко усваиваются. Как и все молочные продукты, она обладает антитоксическим эффектом.

Отрицательное свойство всех перечисленных кормовых продуктов из молока – быстрое обсеменение микроорганизмами, в частности, обладающими патогенными свойствами (стафилококки, кишечная палочка и др.). Это предполагает особые условия хранения сырья и комбикормов с его включением. Сухое молоко, а чаще сухой обрат и сыворотку, предпочтительно использовать в стартовых кормах для различных объектов аквакультуры, в частности, осетровых рыб.

3.3.8. Яичный порошок

Яичный порошок готовится из цельного яйца. Он содержит 96–97% сухого вещества, 35–40% сырого протеина, большое количество липидов (34–36%), около 25% углеводов и 3% зольных элементов; богат фосфором (около 800 мг/кг).

В наших опытах с молодью карпов было установлено, что все органические вещества яичного порошка достаточно хорошо доступны организму рыб (см. табл. 60). Согласно нашим неопубликованным данным, коэффициент переваримости липи-

дов составил 84%, белка – 79%, углеводов – 63%. Из минеральных веществ в относительно больших количествах (40%) доступен фосфор. Величина переваримости зольных элементов перекрывается поступлением в кишечник и выделением с экскрементами обменных фракций минералов в количестве 39% от съеденных рыбами. Это свидетельствует о резкой дисбалансированности для рыб минеральной фракции яичного порошка. Используется в ограниченных количествах в стартовых комбикормах для личинок рыб.

3.3.9. Прадикон

Прадикон, или протеино-адипатный концентрат, относится к нетрадиционным видам белкового сырья животного происхождения. Его изготавливают из отходов кожевенного производства (мездры) способом экструдирования. Прадикон имеет общее содержание протеина, близкое к его количеству в рыбной муке (58%), богат жиром (~ 15%) и углеводами (около 22%). Количество зольных элементов – 4,5%, фосфора – около 1,6%. Отрицательное свойство – недостаточное содержание таких, обычно лимитирующих незаменимых аминокислот, как метионин (1,2–1,4% от общего белка), лизин (2,1–3,4%), гистидин (0,7%) и триптофан (0,3%). По физико-химическим свойствам прадикон не технологичен. В процессе изготовления комбикормов при контакте с водой образует тягучую, трудно перемешиваемую смесь.

На монодиете из прадикона в экспериментах с карпами было показано, что переваримость его сырого протеина и жира была очень высокой – около 90%, зольных элементов – 60%, фосфора – 32%. Практически недоступными оказались углеводы. В связи с этим сухое вещество переваривалось только на 65%, энергия – на 69%. Рыбы плохо ели прадикон и слабо росли [Салькова, Щербина, Гамыгин, 2001].

При включении прадикона в комбикорм выяснилось, что эквивалентная замена им рыбной муки в количестве 9% вызвала неблагоприятные изменения в организме рыб. Несмотря на то, что переваримость органических веществ и энергии кормосмеси была относительно высокой (60–76%), переваренные вещества усваивались очень плохо. По сравнению с кормом, не содержащим прадикона, это выразилось в снижении (до 15%) эффективности использования всех питательных веществ и энергии на прирост массы рыб, обезвоживании организма и активизации синтеза липидов. Интегральным результатом замены рыбной муки на прадикон было торможение роста рыб (на 21%) и увеличение затрат корма на 28% при близкой к контролю интенсивности потребления.

В то же время замена 3% рыбной муки (из общего количества 9%) на прадикон дала положительный эффект. У подопытных карпов по сравнению с контрольным произошло увеличение конверсии питательных веществ корма на 3–25%, энергии – на 11% при некотором ускорении роста.

На основании рыбоводно-физиологических экспериментов было сделано заключение, что прадикон может включаться в комбикорма для карпов в количестве 3% при наличии в составе рецепта 6% рыбной муки. Эта доза оказалась близкой к дозам, рекомендованным для сельскохозяйственных животных (нормы ввода отходов кожевенного производства не превышают 4% [Справочник по вторичным материальным ресурсам, 1984]. При условии обогащения комбикорма синтетическими аминокислотами доза может быть увеличена до 8%.

3.4. Питательные свойства естественной пищи

Питаясь в естественных условиях, организм рыб получает с пищей все элементы, необходимые для нормального развития и роста. Пищеварительная система различных видов рыб в процессе эволюции приспособилась к определенному типу питания. В этой связи представляет интерес сопоставление питательных свойств рассмотренных выше компонентов комбикормов с пищевой ценностью

для рыб ряда кормовых организмов. Это тем более важно, что личинки на ранних этапах постэмбрионального развития, а в последующем молодь и взрослые особи некоторых видов рыб питаются планктонными и бентосными животными.

3.4.1. Планктонные организмы

При разработке стартовых кормов для рыб с коротким циклом эмбрионального развития, которые переходят на внешнее питание, имея недоразвитую пищеварительную систему (в частности, панкреатическую железу), очень важно знание физико-химических свойств отдельных элементов питания, в частности белков.

Особенности фракционного состава белков и необходимость наличия в стартовых кормах их мелкодисперсных компонентов обсуждались нами в разделе 3.2. Здесь приведены сведения о содержании основных групп питательных веществ и аминокислот у таких представителей планктонных животных, как коловратки, ветвистоусые, веслоногие и жаброногие ракообразные, которые относятся к излюбленной пище молоди большинства пресноводных рыб. Инфузории, коловратки и Artemia salina часто используются как начальный стартовый корм для большинства объектов аквакультуры.

Обобщенные известных сведений о биохимическом составе перечисленных организмов представлено в табл. 66 и 67. Образцы кормовых организмов, помимо видовой принадлежности и географического расположения водоемов их обитания, различались способом культивирования, степенью обеспеченности пищей и ее видом, возрастом и состоянием культуры. Количество определений, собранных по отдельным видам животных, неравнозначно. В статистическую обработку были включены данные при числе определений 3 и более (см. табл. 67).

Анализ всего массива данных дает основание говорить о большом сходстве аминокислотного состава белков одноклеточных инфузорий, коловраток и более высокоорганизованных животных: низших ракообразных, личинок хирономид, а также предличинок карпа. Статистически достоверных различий по незаменимым аминокислотам между систематическими группами животных нами не выявлено. Особняком стоит единичное определение пониженного уровня лизина у парамеции, причем другие аминокислоты не выбиваются из общего плана.

Обращает внимание большая вариабельность содержания некоторых аминокислот внутри изученных групп. Так, у Cladocera отмечено наибольшее количество аминокислот с высокими коэффициентами вариации (см. табл. 67). Во многом это явление связано с тем, что в этой группе определения велись на более разнообразном материале (5 видов, молодь и взрослые особи, различные условия питания и способы культивирования).

Наиболее четкие различия аминокислотного состава выявлены у D. magna при слабой обеспеченности пищей (снижение уровня аргинина, треонина, изолейцина в 2 раза и более, увеличение фенилаланина, тирозина, глютаминовой кислоты). Все это происходило на фоне резкого уменьшения (в 2 раза и более) сухого вещества, липидов, сырого протеина, суммы белковых аминокислот и увеличения доли минеральных элементов (см. табл. 66). Сходные, но несколько иные и менее выраженные, изменения можно наблюдать при сравнении свежей и старой образующей эфипии культуры D. magna и C. reticulata.

В то же время аминокислотный состав молоди и взрослых форм D. magna, D. pulex и C. sp., несмотря на различия в общем содержании белка, достаточно сходен. Это дает основание говорить, что возрастная зависимость в составе аминокислот не прослеживается, как и в содержании других групп питательных веществ.

Особенность аминокислотного состава изученных инфузорий, коловраток и низших раков – присутствие свободных форм аминокислот, общее количество которых изменялось в широких пределах (0,6–18% сухого вещества). Причем основная масса свободных аминокислот в наших определениях приходилась на долю таурина. По сведениям других авторов, в свободном состоянии кроме

Таблица 66. Диапазон колебаний химического состава планктонных организмов (пределы содержания) (обобщенные данные образцов, собранных в естественной среде и в условиях культивирования).
ХП – хорошее питание; ОбП – обильное питание; ОгП – ограниченное питание

Показатели	Infusoria	Rotatoria	Cladocera						Copepoda		Insecta
	Paramecia caudatum	Brachionus calyciflorus	Daphnia magna		Dahpnia pulex	Ceriodaphnia		Moina macrocopa	Cyclops strenuus	Eudiaptomus zachariasi	Chironomus tummi larvae
						reticulata	sp.*				
	ХП	ХП	ОбП	ОгП	ОбП	ОгП–ОбП	ОгП	ХП	–	–	ХП
					% натуральной массы						
Вода	–	91	91–89	96–95	93–93	92–87	93–90	95–91	90–86	88	81
Сухое вещество,	–	9	9–11	4–5	7–7	8–13	7–10	5–9	10–14	12	19
					% сухого вещества						
Общие липиды	32	11	6–7	2–2	–	0,6–6	–	4–24	–	–	9
Углеводы	7	19	20–25	31–31	–	26–27	–	27–11	–	–	33
Минеральные элементы	3	6	13–18	38–32	–	21–12	–	11–6	–	–	5
Сырой протеин	58	64	61–50	29–35	42–52	53–55	49–56	57–59	61–43	60	53
В том числе:											
Аминокислоты белка	51	57	50–46	20–24	42–51	42–38	47–55	55–54	58–41	58	–
Свободные аминокислоты	7,4	7,3	10,7–4,0	9,2–11,0	1,1–1,3	11,4–17,6	1,5–0,6	2,7–4,5	3,0–2,3	2,2	–
В том числе:											
Глютаминовая кислота	1,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Аспарагиновая кислота	0,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Аргинин	0,7	–	–	–	0,4–0,4	–	–	– 0,5	1,4–1,2	1,2	–
Таурин	–	6,1	10,2–3,2	9–10,4	–	9,9–17,0	–	2,5 –	–	–	–
Источник	1	1	2	2	3	2	3	2	3	3	4

*Смесь видов.

Примечание. Источник информации: 1 – Кокова, 1982; 2 – Щербина, 2001; 3 – Dabrowski, Rusiecki, 1983; 4 – Першина, Щербина, 1999.

Таблица 67. Усредненные данные [(M± m)/Cv] о содержании аминокислот в пищевых организмах рыб, личинках карпа и о потребностях карпа в аминокислотах, % общей суммы

Показатели	Infusoria	Rotatoria	Cladocera	Copepoda	Branchiopoda	Chironomus tummi	Личинки карпа	Потребность карпа
	Число определений (n)							
	1	3	15	3	5	1	2	
	Незаменимые аминокислоты							
Лизин	4,7	9,1±1,0/19	7,1±0,2/12 (n=12)	7,7±1,3/28	9,1±0,3/7	7,2	7,1	6,6
Гистидин	3,2	2,6±0,5/35	2,2±0,1/13	2,3±0,1/7	2,3±0,1/4	2,5	2,3	2,4
Аргинин	7,1	6,8±0,2/4	6,1±0,4/24 (n=12)	7,2±0,7/16	7,2±0,2/6	5,7	7,3	5,8
Треонин	6,1	5,2±0,2/7	5,6±0,4/25	4,5±0,2/8	4,3±0,4/3	5,9	4,5	3,9
Метионин	1,2	1,7±0,4/37	2,0±0,1/17	2,2±0,2/12	2,0±0,4/19	1,9	2,4	2,2
Валин	6,7	4,8±0,3/12	5,6±0,2/12	5,9±0,2/7	5,3±0,1/6	4,4	6,2	4,6
Изолейцин	14,4	4,0±0,2/8	3,9±0,3/28	4,4±0,2/7	4,9±0,4/20	4,4	5,5	3,7
Лейцин		7,6±0,5/12	6,6±0,5/27	7,0±0,5/11	7,9±0,5/15	9,2	8,7	6,2
Фенилаланин	6,3	5,5±0,5/16	5,6±0,3/19	4,4±0,3/13	4,5±0,3/16	6,6	3,9	4,6
Триптофан	1,2	1,7 (n=1)	–	–	1,0(n=1)	–	–	0,8
	Заменимые аминокислоты							
Глютаминовая к-та	12,8	13,2±0,8/10	14,8±0,9/23	13,3±0,2/3	13,1±0,7/11	15,0	15,7	10,5
Аспаргиновая к-та	10,7	11,1±0,3/4	10,0±0,4/15	8,7±0,2/5	9,7±0,3/7	10,7	8,6	5,1
Серин	4,2	5,8±0,2/6	5,0±0,2/15	4,0±0,1/4	6,0±0,2/8	5,9	4,0	4,1
Глицин	5,2	5,5±0,9/28	7,0±0,6/34	5,7±0,2/6	5,8±0,5/ 20	4,8	4,6	4,7
α-аланин	6,5	5,7±0,5	9,1±0,6	8,5±0,9	5,6±0,3	7,8	6,8	5,2
Тирозин	4,9	4,7±0,2	6,3±0,4	5,8±0,3	5,1±0,69	3,0	4,2	3,2
Пролин	3,2	7,6±0,7	4,3±0,5	7,0±2,2	6,0±0,3	5,0	4,2	–
Цистин	1,6	1,3±0,2	1,6±0,3	1,7±0,3	1,2±0,2	0,8	0,5	–

Примечания: 1. M±m – средняя и ошибка средней; Cv – коэффициент вариации.
2. Источники информации: Щербина, Салькова, 1987; Касаткина, Щербина, 1999; Щербина, 2001.

протеиногенных аминокислот выявлялись орнитин и аспарагин. Таурин не обнаруживался. В то же время И. Руднева [1991] указывает на широкий диапазон колебаний таурина в составе сухого вещества яиц Artemia salina (от 0 до 27%). Достаточно обоснованного мнения о причинах наличия или отсутствия таурина в составе свободных аминокислот по другим источникам мы не имеем. Можно только высказать предположение, что одной из причин могут быть различия в применявшихся методиках извлечения свободных аминокислот. Между тем таурин, являясь продуктом превращения серусодержащей кислоты – цистеина, играет достаточно важную роль в жизнедеятельности животных. В составе таурохолевой кислоты желчи он принимает участие в эмульгировании жиров и – что очень важно – в обезвреживании экзо- и эндогенных токсинов. В настоящее время ему придается большое значение в процессах формирования нервной системы, функционирования зрительного анализатора, обеспечении нормального роста, иммунной защиты и т.д. Поступая в значительных количествах и в легкоусвояемой для слаборазвитой пищеварительной системы личинок рыб форме, таурин в составе первопищи, по всей вероятности, способствует нормализации пищеварительных и детоксицирующих функций.

Наличие значительных количеств свободных аминокислот в пищевых организмах личинок рыб (инфузориях, коловратках, мелких формах веслоногих, науплиях артемий) дает основание для критического отношения к существующим требованиям к содержанию свободных аминокислот в стартовых кормах для личинок карповых, осетровых и других видов рыб с мелкой и быстроразвивающейся икрой. Так, согласно рекомендациям И. Ильиной [1986], базирующимся на изучении фракционного состава растворимых белков мелкого пресноводного зоопланктона и стартового корма Эквизо-1 (включающего гидролизат паприна), количество свободных аминокислот в белках корма должно составлять 1,1–3,0% (к сухому веществу 0,5–1,5%). Сходные рекомендации дает С. Пономарев для стартовых кормов личинок лососевых, сиговых и осетровых (1,6–3,3% к белку и 0,8–1,6% к сухому веществу) [Пономарев, 1995; Пономарев и др., 1997]. Аналогичные данные приведены в работе Н. Судаковой [1998]. Высказывались предположения, что большие количества свободных аминокислот неблагоприятно отражаются на развитии пищеварительной системы, резко снижают продуктивное действие стартовых кормов, отрицательно влияют на жизнеспособность личинок.

Однако наши материалы позволяют высказать иное суждение, требующее дополнительной экспериментальной проверки, как и приведенные выше. Вполне вероятно, что количество, а главное – состав свободных аминокислот в стартовых кормах для молоди карпа (возможно, и для других видов рыб с малым запасом питательных веществ в икре) может быть выше указанных пределов. В пользу этого свидетельствует успешное применение в первый период выращивания молоди пресноводных и морских рыб коловраток, мелкого зоопланктона, личинок артемии и ее декапсулированных яиц, в которых известный нам диапазон содержания свободных аминокислот составляет 0,6–27%.

Артемия наряду с некоторыми видами коловраток используется как биологически полноценный корм при заводском выращивании личинок морских и пресноводных рыб. Ее одновременно с коловратками применяют в период перехода личинок на внешнее питание в качестве первопищи, способствующей нормальному развитию пищеварительной системы и становлению иммунитета. Однако существуют многочисленные доказательства широкой вариабильности ее химического состава, в частности макро– и микроэлементов, жирных кислот (табл. 68) и присутствия в ней различных токсикантов, в зависимости от географического положения и экологии водоемов, где проводился сбор, а также условий культивирования [Кренке, 1980; Watanabe et al., 1982, 1983; Руднева, 1991].

При сопоставлении содержания аминокислот у Artemia salina (табл. 68) и других представителей низших рачков (см. табл. 67) можно говорить о большом сходстве относительного содержания большинства как заменимых, так и незаменимых аминокислот. Отличие – более высокий уровень лизина, что в практике кормления рыб считается положительным фактором. В познавательных целях

считаем целесообразным привести в табл. 68 выборку данных из обзора Т. Ватанабе с соавторами [Watanabe et al., 1983], где помещены сведения об известных колебаниях химического состава яиц и личинок артемии, собранных в природных условиях или культивировавшихся в различных лабораториях Японии, Канады и Северной Америки. В других работах [Watanabe, 1982; Watanabe et al., 1982, 1983] сообщается, что питательная ценность рачка во многом определяется высоким уровнем в его липидах физиологически важных полиненасыщенных жирных кислот: линоленовой (18:3n-3), незаменимой для пресноводных рыб и эйкозапентаеновой (20:5n-3) – для морских. На этом основании Т. Ватанабе рекомендует добавлять соответствующие жирные кислоты в пищевые субстраты при культивировании водорослей, на которых ведется выращивание артемии.

Таблица 68. Диапазон колебаний химического состава Artemia salina

Показатели	Яйца	Личинки после вылупления
	% натуральной массы	
Вода	13–15	87–91
Сухое вещество	85–87	9–13
	% сухого вещества	
Сырой жир	5–14	10–26
Углеводы	10–23	8–30
Минеральные вещества	7–18	6–12
Сырой протеин	55–63	46–71
Аминокислоты белка	40	–
	Содержание незаменимых аминокислот, % белка	
Лизин	6,5–8,2	8,9–9,8
Гистидин	2,1–3,9	1,9–2,7
Аргинин	5,4–7,6	7,2–7,7
Треонин	4,8–5,2	2,5–4,8
Метионин	2,0–2,7	1,9–2,4
Валин	5,3–5,5	4,7–5,5
Изолейцин	4,4–6,7	3,8–4,8
Лейцин	5,5–7,6	8,1–8,9
Фенилаланин	3,3–6,9	4,7–5,1
Триптофан	0,5	1,5
Свободные аминокислоты	0–27	0,1–6,2

Примечание. Источники: Щербина, 2001; Михайлова, 2000; Dabrowski, Rusieski, 1983; Watanabe et al., 1983; Остроумова, 2001; Руднева, 1991.

Химический состав единственного исследованного нами представителя Insecta – донных личинок Chironomus tummi приведен выше (см. табл. 66). В их организме содержится значительно больше сухого вещества (около 20%), чем у низших ракообразных, и тем более коловраток и инфузорий. Аминокислотный состав личинок хирономид близок (за редким исключением) к составу изученных представителей Crustacea (Cladocera, Copepda, Branchiopoda).

Таким образом, аминокислотный состав различных представителей планктонных сообществ, таких как одноклеточные инфузории и коловратки, низшие ракообразные (Cladocera, Copepoda, Branchiopoda), личинки насекомых (Chironomus tummi), личинки костистых рыб (Cyprinus caprio), имеет большое сходство. При этом значительная часть аминокислот пищевых организмов (до 10% и более сухого вещества) может находиться в свободном состоянии. Обращает внимание, что в пуле свободных аминокислот, помимо протеиногенных, обнаружено значи-

тельное количество таурина. В то же время аминокислотный состав планктонных организмов подвержен значительным вариациям, величина которых, как и общее содержание основных групп органических и минеральных веществ, зависит в основном от степени накормленности и качества пищи, а также от состояния культуры гидробионтов. Четко выраженных возрастных различий не выявлено. Все изученные группы организмов способны удовлетворять потребности карпов в аминокислотах.

3.4.2. Пищевая ценность для карпов личинок хирономид и дафний

В условиях аквакультуры присутствие в рационах рыб наряду с комбикормами живых организмов оказывает благотворное влияние на эффективность кормления. С этой целью разработаны различные способы культивирования планктонных и бентосных организмов и технологии стимулирования естественной кормовой базы водоемов (мелиорация, удобрение, интродукция животных организмов и др.). В то же время сведения, характеризующие индивидуальную питательность излюбленных пищевых организмов рыб крайне малочисленны и фрагментарны [Карзинкин, 1952; Шпет, 1967; Филатов, 1974; Kaushik, Luquet, 1976; Wojno, Dabrowska, 1978 и ряд других]. Это связано с особенностями водной среды обитания рыб, которая создает большие трудности при учете поедаемой рыбами естественной пищи и выделяемых экскретов.

Исследования ВНИИПРХ по комплексному изучению личинок хирономид и дафнии (Daphnia magna) в кормлении молоди карпа включали синхронные рыбоводно-биологические и физиолого-биохимические эксперименты в аквариумных условиях. Исследовали химический состав организмов, переваримость содержащихся в них питательных веществ, эффективность использования этих веществ на рост рыб. Одновременно оценивали скорость роста рыб, их химический состав и изменения в обмене веществ. Кроме того, было изучено влияние различных количеств этих организмов на продуктивное действие комбикорма [Першина, 1984; Першина, Щербина, 1985, 1999; Щербина, Першина, 1984, 1988; Shcherbina, Pershina, 1990, 1995].

Центральным звеном этих исследований была оригинальная модификация метода инертных веществ, разработанная И.Ф. Першиной [1984] для определения переваримости естественной пищи у рыб. Используя особенности питания факультативных глотальщиков – донных личинок комара-толкунца (Chironomus tummi) и планктонного фильтратора дафнии (Daphnia magna), она разработала приемы прижизненного введения в организмы инертного маркера – окиси хрома. Это впервые дало возможность in vivo определить переваримость и усвоение у рыб не только самих организмов, но и их смесей с комбикормом.

В схему экспериментов входило выращивание молоди карпов (17–22 г) на монодиетах из личинок хирономид, дафний и комбикорма, а также на смешанных диетах с определенными количествами живых организмов (табл. 69). Комбикорма, задаваемые рыбам через миниатюрные маятниковые кормушки, и вносимые пищевые организмы поедались рыбами свободно. Среднесуточный рацион пищевых организмов в расчете на сухое вещество составлял 1,8–2,7% от массы рыб (в натуральной массе 9,2% хирономид и 31% дафний), комбикорма – 2,3–2,8%.

По сравнению с рационом из одного комбикорма наличие в рационе 4 и 17% сухого вещества личинок хирономид привело к увеличению потребления пищи соответственно на 4 и 22% и ускорило рост в 1,7 и 2,1 раза. Присутствие в рационе 5 и 7% дафний активизировало потребление пищи на 32 и 43%, а скорость роста – в 2,6 и 3,2 раза. В то же время кормовые организмы, которых задавали в виде монодиеты в расчете на сухое вещество, поедались в меньших количествах, чем комбикорм (в 1,3 и 1,6 раза), что вызвано высоким содержанием в них воды и ограниченной способностью кишечников рыб к растяжению.

По химическому составу (табл. 70) подопытные личинки хирономид и дафнии отличались от комбикормов почти в 10 раз большим содержанием воды, более

Таблица 69. Влияние содержания животных организмов в рационах на интенсивность питания и рост молоди карпов массой 17–22 г (по Shcherbina, Pershina, 1995 и Першиной, Щербине, 2001)

Показатели	Личинки Chironomus tummi	Комбикорм ВБС-РЖ	Смешанные диеты		Daphnia magna	Комбикорм ВБС-РЖ-81П	Смешанные диеты	
			комбикорм 95,7% + + Ch. tummi 4,3%	комбикорм 83,4%+ + Ch. tummi 16,6%			комбикорм 94,6% + + D. magna 5,4%	комбикорм 92,6% + D. magna 7,4%
Среднесуточный рацион, % к массе рыб:								
Сухого вещества	1,8±0,05^{a}	2,3±0,1^{b}	2,4±0,08^{b}	2,8±0,1^{b}	1,7±0,08^{a}	2,8±0,20^{n}	3,7±0,12^{c}	4,0±0,14^{cd}
В том числе								
животной пищи	1,8	0	0,1	0,4	1,7	0	0,1	0,3
Сырого вещества животной пищи	9,2	0	0,5	2,0	31,0	0	0,3	0,96
Скорость роста, % средней массы тела в сутки	1,48±0,09^{a}	0,69±0,04^{b}	1,20±0,09^{c}	1,42±0,06^{ad}	1,67±0,05^{a}	0,68±0,16^{b}	1,76±0,21^{ac}	2,14±0,7^{d}
Затраты на прирост массы* рыб, кг/кг:								
сухого вещества	1,22±0,23^{a} 0,95	3,28±0,1^{b} 2,03	2,0±0,28^{cb} 1,25	2,0±0,16^{c} 1,25	1,05±0,1^{a} 0,68	4,10±0,36^{b} 2,05	2,11±0,24^{c} 1,08	1,87±0,21^{c} 0,82
сырого вещества животной пищи	6,25	–	–	–	19.1	–	–	–
сырого протеина	0,64±0,09^{a} 0,54	0,96±0,04^{b} 0,77	0,61±0,09^{a} 0,51	0,66±0,05^{a} 0,56	0,46±0,05^{a} 0,38	1,13±0,13^{b} 0,87	0,59±0,09^{a} 0,39	0,53±0,07^{a} 0,38

*Над чертой – валовые, под чертой – переваренные вещества; разными буквами обозначены статистически значимые различия (при $p < 0,05$), одинаковыми – незначимые.

Таблица 70. Содержание питательных веществ в животных организмах, комбикормах и смешанных диетах и их переваримость у молоди карпов (по Shcherbina, Pershina, 1990, 1995; Першиной, Щербине, 1999)

Показатели	Личинки Ch. tummi	Комбикорм ВБС–РЖ	Смешанные диеты		Daphnia magna	Комбикорм ВБС-РЖ-81П	Смешанные диеты	
			к/к 95,7% + Ch. tummi 4,3%	к/к 83,4% + Ch. tummi 16,6%			к/к 94,6% + D. magna 5,4%	к/к 92,6% + D. magna 7,4%
			% натуральной массы					
Вода	80,5	8,7	11,8	20,6	94,5	9,3	13,3	16,0
Сухое вещество	19,5/79	91,3/62	88,2/63	79,4/63	5,5/64	90,7/50	86,7/45	84,0/44
			% сухого вещества					
Сырой жир	9,3/94	2,3/63	2,6/80	3,4/81	8,0/80	1,7/56	2,0/63	2,2/64
Углеводы	33,0/72	63,4/59	62,0/57	58,4/56	36,4/64	62,6/49	61,5/42	60,6/42
Зола	4,7/31	5,1/21	5,1/16	5,0/7	11,6/0,1Э	8,2/36Э	8,4/32Э	8,5/41Э
Сырой протеин	53,0/85	29,2/80	30,3/84	33,2/85	44,0/80	27,5/77	28,3/73	28,8/72
Аминокислоты (сумма)	49,2/86	27,9/85	28,4/86	31,1/88	42,4/86	27,0/84	27,9/82	28,3/85
Энергия, МДж/100 г	2,2/83	1,9/67	1,9/69	1,95/70	2,0/75	1,8/60	1,8/52	1,8/54

*Перед чертой – содержание, %; за чертой – переваримость, % съеденных; Э – выделение обменных фракций через кишечник; к/к – комбикорм.

высокой долей в сухом веществе сырого протеина и липидов и меньшим количеством углеводов. Между собой они различались прежде всего уровнем сухого вещества и минеральных элементов. Первого в дафниях было в 3,5 раза меньше, а второго – в 2,5 раза больше, чем в личинках хирономид. Уровень белка у дафний также был ниже (на 9%), а углеводов – несколько выше.

Интересно отметить, что дафнии оказались менее удобоваримыми для рыб, чем хирономиды (64 против 79%). С одной стороны, это может быть связано с большим количеством у дафний плохо переваримого хитина панцирей, с другой – очень высокой скоростью продвижения пищи через кишечник, т.к., согласно табл. 69, среднесуточный рацион при питании рыб дафниями был очень большим, составив 31% от массы рыб, против 9% хирономид, несмотря на то, что количество потребляемого сухого вещества в обоих случаях было практически одинаковым (1,7 и 1,8%). Вполне вероятно, что определенную роль сыграли оба фактора. Из других питательных веществ более низкой была переваримость липидов (80 против 94%). Доступности минеральных веществ дафний определить не удалось, т.к. она перекрывалась экскрецией из организма в кишечник их обменных фракций; зольные элементы хирономид переваривались приблизительно на 1/3. В то же время коэффициенты переваримости сырого протеина и доступности аминокислот были достаточно близкими. Согласно данным табл. 71, белки дафний в отличие от белков хирономид имеют более высокий уровень и лучшую доступность метионина – одной из наиболее лимитирующих аминокислот в кормлении рыб (скор 95 против 77% у хирономид). Они более богаты и другими незаменимыми кислотами: аргинином, валином, изолейцином.

Сравнивая показатели конверсии (табл. 72), можно видеть, что, несмотря на худшую переваримость, усвоение органических веществ и энергии дафний шло у рыб значительно лучше, чем хирономид. Это обстоятельство связано с неучтенными нами факторами, как-то: эссенциальные жирные кислоты, витамины и различные биологически активные вещества. В результате затраты сухого вещества дафний на прирост единицы массы рыб (в данном случае их можно считать кормовыми коэффициентами) составили 1 против 1,2 единиц у личинок хирономид (см. табл. 69). Существенно меньшими оказались и затраты белка дафний на прирост 1 кг карпов: 460 г валового и 380 г переваримого, а у хирономид – 640 и 540 г. Все это дает основание высоко оценить пищевую ценность дафний. Однако, учитывая их влажность, для прироста 1 кг карпам потребовалось съесть более 6 кг хирономид и 19 кг дафний.

В процессе испытаний смешанных диет оказалось, что присутствие в рационах, помимо комбикорма, даже максимальных количеств животной пищи не внесло ощутимых изменений в их химический состав, разве только повысился уровень липидов. В то же время потребление рыбами возрастающих количеств животных организмов несколько изменило ход пищеварительных процессов (см. табл. 70). Резко улучшилась переваримость увеличенного в рационах жира; в то время как углеводов – ухудшилась. Переваримость белка при введении в рацион хирономид возросла, а в варианте с дафниями – сократилась. Одновременно прослеживалось благотворное влияние животных организмов на доступность аминокислот и их скоры (см. табл. 71). Наиболее четко это проявилось для незаменимого метионина, обычно лимитирующего в комбикормах с преобладанием растительных компонентов.

При питании смешанными диетами по сравнению с комбикормом, согласно данным табл. 72, в организме рыб резко возросла степень конверсии белка, энергии и общей суммы веществ рационов, особенно в присутствии рачков.

Возвращаясь к табл. 69, можно видеть, что увеличение в пище доли рачков привело не только к повышению аппетита, но и к усилению в 2,5–3,0 раза скорости роста рыб. Одновременно отмечено сокращение затрат комбикорма и содержащегося в нем белка на прирост массы рыб до очень низких величин: 590–530 г/кг валового и 390–380 г/кг переваримого белка.

Описанный эффект ощутимо проявлялся при столь малой дозе потребления животных организмов, как 0,1% сухого вещества пищи от массы рыб в сутки или соответственно 0,3 и 0,5% сырого вещества дафний и личинок хирономид.

Таблица 71. Содержание (% белка), доступность (% съеденных с пищей) и скоры (% потребности) доступных незаменимых аминокислот личинок хирономид, дафний, комбикормов и смешанных диет для молоди карпа (по Shcherbina, Pershina, 1995; Першиной и Щербине 1999)

Показатели	Личинки Chironomus tummi	Комбикорм ВБС-РЖ	Ch. tummi 16,6% + к/к 83,4%	Daphnia magna	Комбикорм ВБС-РЖ-81П	Daphnia magna 7,4% + к/к 92,6%
Аргинин						
Содержание	5,7	7,3	7,1	6,7	6,0	6,1
Доступность	93	90	91	90	88	88
Скор	91	113	112	103	91	93
Гистидин						
Содержание	2,5	2,7	28	2,2	2,5	2,4
Доступность	87	88	90	88	84	83
Скор	91	99	105	81	87	87
Лизин						
Содержание	7,2	5,8	6,0	6,2	5,5	5,7
Доступность	93	89	87	92	89	90
Скор	101	78	79	86	74	77
Треонин						
Содержание	5,1	4,9	5,0	5,5	5,6	5,6
Доступность	87	85	88	84	86	86
Скор	114	107	112	118	123	128
Валин						
Содержание	4,4	4,5	4,5	6,7	7,3	7,2
Доступность	87	84	87	86	88	87
Скор	84	82	85	126	139	137
Метионин						
Содержание	1,9	1,7	1,8	2,3	2,0	2,1
Доступность	89	49	88	91	87	92
Скор	77	38	72	95	77	86
Изолейцин						
Содержание	4,4	4,0	4,2	6,2	4,7	4,8
Доступность	90	85	87	84	88	88
Скор	106	92	99	141	111	116
Лейцин						
Содержание	9,2	7,4	7,7	8,2	7,5	7,6
Доступность	74	88	86	87	85	84
Скор	109	105	107	115	103	103
Фенилаланин						
Содержание	6,6	6,0	6,1	4,6	4,5	4,5
Доступность	88	88	90	87	85	84
Скор	125	115	119	87	83	83
Тирозин						
Содержание	3,0	4,0	3,8	4,0	1,9	2,1
Доступность	80	87	88	85	65	87
Скор	75	108	105	106	38	56

Таблица 72. Коэффициенты эффективности использования (Эи) питательных веществ и энергии личинок хирономид, дафний, комбикормов и смешанных диет на рост карпов, %

Показатели	Личинки Ch. tummi	Комбикорм ВБС-РЖ	Смешанные диеты		Daphnia magna	Комбикорм ВБС-РЖ-81П	Смешанные диеты	
			к/к 95,7% + 4,3% Ch. tummi	к/к 83,4% + 16,6% Ch. tummi			к/к 94,6% + 5,4% D. magna	к/к 92,6% + 7,4% D. magna
Сухое вещество:								
на прирост массы рыб	83	39	44	50	96	24	47	54
на прирост сухого вещества в теле рыб	18	11	11	11	29	9	15	17
Сырой протеин	18	16	16	19	39	18	28	32
Минеральные элементы	79	23	21	24	20	0,4	10	14
Энергия	16	19	15	16	37	15	24	24

Примечание. $Э_и = M_tП_t - M_oП_o/Ск$, где M_oM_t и $П_oП_t$ – средняя масса рыб (г) и содержание питательных веществ (%) или энергии (кДж/100 г); Ск – количество питательных веществ или энергии (г, кДж), потребленных одной рыбой.

В заключение раздела необходимо отметить, что идеально переваримой пищи нет: даже излюбленные естественные кормовые организмы не могут перевариваться полностью. Всегда остается какая-то часть питательных веществ, большая или меньшая, которую пищеварительная система рыб не может извлечь из корма. Главная причина – химическая форма веществ и эволюционно выработанный набор соответствующих пищеварительных ферментов.

При этом обращает внимание тот факт, что относительная величина переваримости всех изученных групп питательных веществ и доступности аминокислот естественной пищи находится в том же диапазоне, что и сырья животного, микробиального и даже растительного происхождения. Таким образом, по этим показателям она не имеет существенных преимуществ, однако эти преимущества проявляются при пересчете на абсолютные величины.

Как показали эксперименты, обеспечение животными организмами молоди карпов, имеющей свободный доступ к комбикорму, даже в столь малых количествах, как 0,1% сухого вещества (или 0,3–0,5% сырого вещества) от массы рыб в сутки, стимулирует ее аппетит, несколько активизирует пищеварительные и в исключительно большой степени – биосинтетические процессы. Из табл. 69 видно, что разница в затратах белка личинок хирономид и комбикорма (как валового, так и переваримого) на прирост 1 кг массы рыб достигала 1,5 раз. При наличии в рационе 0,5% личинок затраты кормовой смеси снизились до варианта монодиеты личинок и остались на том же уровне при увеличении в диете личинок в 4 раза.

Аналогичное явление наблюдали и в опытах с дафниями. Первоначальные различия в затратах по валовому и переваримому белку в 2,0–2,5 раза полностью нивелировались при наличии в рационе как 0,1, так и 0,3% сухого вещества дафний. При этом, по нашим данным [Щербина, Першина, 1988; Shcherbina, Pershina, 1990], возрастающая интенсивность роста рыб сопровождалась изменениями в обмене веществ, что выразилось в обводнении прироста, снижении синтеза липидов, усилении синтеза углеводов, при относительно стабильном накоплении белка.

Заключительные замечания

В главе представлена оценка питательности для рыб основных видов сырья животного и растительного происхождения, продуктов микробиосинтеза, а также продуктов, изготовленных из отходов промышленной переработки пищевого сырья. Все исследования были выполнены на единой методической основе, включающей определение химического состава сырья, переваримости у рыб основных групп питательных веществ и энергии, доступности незаменимых аминокислот и степени удовлетворения ими потребностей рыб (скоров). Кроме того, учитывалась интенсивность роста рыб (как при питании компонентом в виде монодиеты, так и в составе комбикорма), затраты корма на единицу прироста массы, а также изменения в обмене веществ под влиянием индивидуальных свойств сырья.

Испытания новых и потенциальных источников кормового сырья (таких как кукурузный глютен, горчичные, клещевинные, арахисовые, конопляные жмыхи и шроты, крилевая, кальмаровая и перьевая мука, прадикон, белотин, биотрин, кливеролакт и др.) были вызваны необходимостью изыскания дополнительных ресурсов белка, т.к. стоимость наиболее ценного его источника – рыбной муки – постоянно возрастает, и она находится в дефиците.

Поэтому одна из главных задач аквакультуры – трансформация неполноценных в пищевом отношении источников протеина в качественные заменители рыбной муки. В аспекте решения этой задачи в настоящее время можно наблюдать очередной виток интереса к исследованиям по замене животного белка на различные источники растительного. Это касается не только объектов пресноводной аквакультуры, но и морских рыб, более требовательных к качеству белка. Ситуация обостряется тем, что производство наиболее питательных для рыб заменителей животного белка – продуктов микробиосинтеза (паприна, эприна, гаприна) полностью прекращено или резко сокращено по экономическим причинам. Новые белковые продукты на основе дрожжей - белотин и биотрин - показали в опытах на рыбах более или менее выраженное тормозящее рост действие и отрицательное влияние на обмен веществ.

Согласно ранним исследованиям Е. Гамыгина и А. Канидьева [1975], замена рыбной муки на растительные источники дает отрицательный результат для мальков и молоди форели. В то же время для товарных рыб отрицательный эффект менее выражен и замена экономически выгодна, несмотря на худшее использование протеина в организме рыб [Канидьев, Гамыгин, 1975]. Современные франко-испанские эксперименты на радужной форели [Bertran et al., 2004] и морском леще [Sitja-Bobadilla et al., 2004] показали, что замещение в корме до 50% рыбной муки растительным протеином не оказывало влияния на обмен веществ и рост рыб. Однако по данным Е. Сантигозы [Santigosa et al., 2004], 100%-ная замена приводила к снижению активности протеаз и, как следствие, к ухудшению переваримости белков и корма в целом. Вероятнее всего это явилось одной из главных причин торможения роста рыб. В то же время, по мнению М. Франческо с соавторами [Francesco et al., 2004], введение в корм морского леща вместо 75% рыбной муки смеси растительных протеинов (пшеничного и кукурузного глютенов, рисовой муки, пшеничных зародышей, экструдированной пшеницы) не повлияло на рост и продолжительность жизни рыб, а также на такие важные показатели товарного качества рыбной продукции, как вкусовые, физические и химические свойства. Поэтому работы в данном направлении останутся актуальными длительное время, и представленная в главе характеристика доступности аминокислот и их скоров должна способствовать подбору таких комбинаций сырья, которые дают максимально возможную степень сбалансированности белка рационов. Восполнение потребностей рыб в других элементах питания (жирах, углеводах, витаминах) не столь сложно.

Изучение питательных свойств рыбной муки убедило нас в существовании их широкой вариабельности в зависимости от источника сырья и особенно способа изготовления. В целях выявления технологий высококачественной рыбной муки

нами были испытаны семь различных вариантов. Наилучший биологический и физиологический эффект независимо от вида сырья и объекта испытаний был получен при использовании прессово-сушильной технологии (при условии обработки свежего сырья) с применением антиокислителей, а также по той же схеме с добавками неионогенных поверхностно-активных веществ (НПАВ), разработанных при участии ВНИРО.

В связи с использованием экструзии при выработке комбикормов с высоким содержанием рыбной муки, была поставлена серия специальных экспериментов. Удалось установить, что экструдирование муки приводит к ухудшению ее питательных свойств. Происходят нежелательные изменения в химическом составе, особенно в углеводистой части и полиненасыщенных жирных кислотах, разрушаются витамины, фосфор переходит в неусвояемую форму и т.д. Все это сопровождается общим снижением доступности ее питательных веществ для рыб. При кормлении рыб подобной мукой в монодиете отмечены резкое угнетение роста и значительное увеличение ее затрат на прирост массы рыб. Кроме того, было отмечено ухудшение продуктивных свойств комбикормов после экструзии даже при ограничении в корме рыбной муки до 16-9%.

Сказанное следует принять как призыв к осторожности при применении экструзии для изготовления рыбных комбикормов и как указание на целесообразность раздельной обработки углеводистых и белковых компонентов.

Из других источников животного белка следует отметить высокое качество *мясокостной муки*, которое проявляется, однако, только после экструзии. Обработка способствует множественным разрывам твердых клеточных оболочек и изменяет физико-химические свойства углеводов, делая их более доступными для организма рыб. Помимо этого, она уничтожает микрофлору и если не полностью, то частично разрушает ее токсины, а также другие антипитательные факторы.

Крилевую муку, несмотря на достаточно высокое содержание хорошо сбалансированного белка, нельзя признать высокопитательным компонентом для безжелудочного карпа из-за перегруженности ее плохо переваримым хитином. Это обстоятельство снижает общую переваримость муки до 40% и способствует снижению доступности азотсодержащей части (63%).

Напротив, у форели, которая имеет фермент хитиназу и способна питаться жесткокрылыми насекомыми, переваримость углеводов и всех питательных веществ очень высока и близка к биологическому пределу. Более того, в муке присутствует много каротиноидов, играющих важную роль в процессах метаболизма рыб и активизирующих их рост. С этих позиций крилевую муку наиболее целесообразно использовать в комбикормах для лососевых рыб, которые эволюционно приспособлены к пище такого типа. Они обладают способностью достаточно полно извлекать из нее все питательные вещества, а также накапливать в мышцах и других тканях каротиноиды, необходимые для формирования иммунитета и репродуктивной функции, а также нормального развития потомства.

Кальмаровая мука – это перспективный источник сырья животного происхождения. Ее белки не имеют лимитирующих аминокислот. Она для форели характеризуется хорошей переваримостью всех питательных веществ и энергии. В случае с карпом исключение представляют углеводы. Их переваримость, как и углеводов крилевой муки, в 2 раза ниже, чем у форели. Очень ценно, что жиры богаты физиологически важными жирными кислотами – эйкозапентаеновой и докозагексаеновой. Отрицательные свойства – наличие ряда антипитательных факторов, в частности гистамина, который может вызывать различные патологии, ухудшающие физиологическое состояние рыб, а также способствовать быстрому развитию перекисного окисления липидов еще в процессе изготовления пищевого продукта (филе). При наличии в комбикормах этой муки в количестве от 10 до 20% положительные свойства перекрывают отрицательные.

Кровяная мука. Обладая очень высоким содержанием белка (до 83% и более) и доступностью на рынке сырья, но не может быть основным источником животного белка в комбикормах для рыб. Основной недостаток – избыточное содержание гистидина, входящего в состав гемоглобина (скор 185%), что вызывает рез-

кий дисбаланс всех аминокислот и лимиты изолейцина (25%) с метионином (38%). Все это приводит к сильному снижению продуктивных свойств белка кровяной муки в целом. Кроме того, из-за избытка гистидина возможны высокий уровень образования сильно токсичного гистамина, а также быстрое обсеменение продукта патогенной микрофлорой. В совокупности все отрицательные свойства вызывают серьезные нарушения в обмене веществ у радужной форели даже при условии наличия кровяной муки в составе кормосмеси в количестве 10%.

Перьевая мука. Несмотря на предельно высокое содержание сырого протеина (до 97%) и длительную историю попыток ее использования в кормовых целях, в настоящее время не может быть отнесена к ценным источникам белкового сырья. Испытанный образец, изготовленный методом экструзии в современной модификации, характеризовался очень низкой питательностью. Недостатки: плохая переваримость протеина (45%), низкие содержание и доступность гистидина, лизина, метионина, что создает их резкий лимит (скоры 11, 14 и 28%); патологические нарушения обмена веществ при депрессии роста рыб. Безболезненно может вводиться в комбикорма в количестве не более 4–5%.

Прадикон. Это продукт переработки отходов кожевенного производства (мездры) способом экструдирования. Относится к нетрадиционным видам белкового сырья. Богатство протеином и жиром (58 и 15%) и их высокая переваримость сопровождаются недостаточностью лизина, метионина, гистидина, что наряду с присутствием антипитательных факторов, вызывающих нарушение метаболизма и депрессию роста, свидетельствует о его невысокой питательности. В настоящее время его можно отнести к нежелательным источникам животного белка.

В кормлении карповых рыб традиционно в России в качестве источника белка еще с начала XX века использовались жмыхи и шроты – дешевые и доступные продукты переработки масличных культур. Однако для рыб по большей части питательные свойства этих концентратов растительного белка не коррелируют с относительным содержанием сырого протеина.

Наиболее богаты по валовому содержанию и доступным аминокислотам соевые, рапсовые, конопляные жмыхи и шроты. В то же время ни один из них не имеет столь сбалансированного состава аминокислот белка, как рыбная, крилевая, кальмаровая или экструдированная мясокостная мука. Их белки, как и всей группы в целом, характеризуются резким лимитом доступных форм лизина и метионина либо по отдельности, либо вместе. Другое отрицательное свойство – низкая переваримость углеводов, что создает дисбаланс в соотношении переваримого протеина и переваримой энергии, являющийся предпосылкой малой эффективности использования белка в организме рыб. Кроме того, почти в каждом представителе этой группы содержатся в большем или меньшем числе и количестве токсически действующие вещества естественного происхождения. Они являются серьезным препятствием для использования жмыхов и шротов в кормлении как животных, так и рыб, особенно видов с высокой потребностью в белке. Наиболее яркий пример – соевый шрот, который обладает большим количеством белка с высоким содержанием лизина, но имеет несколько десятков антипитательных факторов, негативно действующих на многие стороны метаболизма и воспроизводительную функцию рыб. Поэтому на протяжении последних 50 лет велись изыскания способов устранения негативных свойств соевых продуктов. Они завершились созданием таких высокоэффективных технологических приемов обработки, как экструдирование и экспандирование. Их воздействие частично или полностью разрушает антипитательные вещества, а также изменяя физико-химическую структуру углеводов, способствует повышению доступности питательных веществ жмыхов и шротов для рыб. Подробно это будет обсуждаться в главе 5.

В целях снижения лимита доступных аминокислот при разработке рецептур комбикормов, содержащих жмыхи и шроты, применяются их комбинации между собой или с другими сырьевыми источниками. Другой путь сбалансированности белка – введение препаратов синтетических аминокислот, в частности лизина и

метионина дрожжевого и химического происхождения, однако практика показала сложность последнего решения. Это связано, с одной стороны, с быстрой экстракцией из корма препаратов аминокислот в воде, а с другой – трудностями, возникающими в организме рыб при всасывании свободных аминокислот в пищеварительном тракте и включении их в процессы обмена. Объяснение этому явлению дает современная теория «питательного гомеостаза» [Гальперин, Лазарев, 1986]. Дело в том, что свободные аминокислоты, включаемые в комбикорма, очень быстро всасываются уже в передних отделах пищеварительного тракта. Происходит их залповое поступление во внутреннюю среду организма, что вызывает критическое повышение концентраций аминокислот в крови и других тканевых жидкостях. В случаях отрицательного эффекта применения препаратов синтетических аминокислот скорость пополнения ими внутренней среды организма превышает предельную возможность механизмов депонирования той их части, которая не расходуется в метаболических процессах. На этом основании можно предположить, что наиболее эффективными концентратами аминокислот будут служить препараты, в которых лизин и метионин включены в белки и высвобождение этих аминокислот из белков будет происходить постепенно. Наиболее вероятный путь их получения – микробиосинтез. Следует отметить, что работы в этом направлении активно ведутся во всем мире.

Экономия животного белка при создании комбикормов для рыб возможна и путем использования концентратов белка зерновых культур, таких как кукурузный глютен, пшеничные зародышевые хлопья и витазар.

Кукурузный глютен. Имеет пределы в содержании сырого протеина 50–70%. Однако по сравнению с потребностями форели и карпа он резко дефицитен по лизину и аргинину (соответственно скоры 36 и 27% и 64 и 55%). При этом наблюдается избыток остальных незаменимых аминокислот (особенно лейцина, скор которого достигает 370%), а также всех заменимых аминокислот. Белок глютена у лососевых и сомовых рыб, имеющих желудок и последовательное пищеварение в соляно-кислой и щелочной среде, переваривается достаточно полно (до 80–96%). При комбинации с рыбной мукой или другим сырьем, не допускающей дефицита лизина, его можно включать в количестве 15–20%. Дефицит аргинина устраняется любыми злаковыми (кроме сорго).

В щелочной среде кишечника безжелудочного карпа извлекается только половина белка и сухого вещества. В продукционных карповых кормах замена 9% рыбной муки на эквивалентное количество глютена дает отрицательный результат: отмечаются резкое торможение роста рыб и патологические изменения в обмене веществ. Положительные свойства глютена могут проявляться при сочетании с соевым шротом или замещении им не более 15% других жмыхов или шротов и в случае обязательного присутствия животного сырья, исключающего дефицит лизина.

Пшеничные зародышевые хлопья. В среднем имеют 36% белка (29–41%), богатого водорастворимыми фракциями с благоприятным составом незаменимых аминокислот, которые легко усваиваются рыбами. Значительное количество высокопитательных липидов и углеводов, а также биологически активных веществ делают их желательными компонентами в кормах для лососевых рыб, где возможно замещение ими 30–40% рыбной муки.

Наивысшую питательную ценность показали обезжиренные хлопья – витазар. В стандартных продукционных комбикормах для форели и осетровых им можно заменять от 20 до 50% рыбной муки и доводить его количество до 75% общего содержания компонентов без снижения продуктивного действия и физиологического эффекта.

В кормлении карпов витазар также является высокопродуктивным кормовым средством. Его можно включать в комбикорма без ограничения содержания. В эквивалентных количествах (10-18%) может служить хорошим заменителем эприна и других кормовых дрожжей.

Наиболее эффективными заменителями рыбной муки и животного белка до последних 10–15 лет были *продукты микробиосинтеза.* Они относились к высоко-

питательным и относительно дешевым компонентам с высоким содержанием белка (36–75%), которые обладали хорошей доступностью аминокислот. По набору и соотношению большинства незаменимых аминокислот их белки способны удовлетворять потребности основных культивируемых рыб. Главное достоинство – высокое содержание лизина, в отдельных случаях превышающее потребности рыб, что позволяло при комбинации с растительным сырьем достигать хорошей сбалансированности аминокислотного состава. К большим преимуществам их белков также относится наличие значительных количеств растворимых фракций, которые имеют в своем составе промежуточные продукты белкового синтеза, свойственные естественной пище личинок рыб – мелким формам беспозвоночных. Это послужило основанием для разработки на основе дрожжевых продуктов высокопитательных стартовых кормов для личинок многих видов рыб.

Однако по экономическим причинам производство наиболее ценных из них (БВК – паприна, эприна, гаприна, выпускавшихся в больших объемах), в настоящее время практически прекращено. Отсутствие этих продуктов резко увеличило потребность в рыбной муке и привело к удорожанию комбикормов. Помимо этого, аквакультура лишилась высокоэффективных стартовых кормов для карповых, сиговых и ряда других видов рыб. В то же время ведется выработка значительно менее питательных кормовых дрожжей (гиприна). Кроме того, на рынке сырья присутствуют белотин и биотрин. Приведенные выше характеристики о крайне низкой питательности этих дрожжевых продуктов и негативном их воздействии на метаболизм и рост рыб должны служить предупреждением и призывать к осторожности в использовании широко рекламируемых новых продуктов без предварительных испытаний.

Представленные данные о высокой питательности для рыб паприна, эприна и гаприна и широкой возможности их применения для создания разнообразных видов кормов для всех объектов аквакультуры могут послужить новым основанием для возобновления промышленного производства этих продуктов микробиосинтеза.

Подводя итог вышеизложенному, следует отметить, что описанные компоненты не исчерпывают перечня отечественного сырья. Нами исследованы в основном наиболее употребительные кормовые средства и периодически поступавшие нетрадиционные источники. Нет сомнения, что с развитием пищевой промышленности и сельского хозяйства будут появляться новые продукты переработки их отходов, которые можно будет использовать в кормлении рыб.

Глава 4
Составление рецептур комбикормов

4.1. Общие положения

Рыбы как объект разведения неодинаковы по типу и характеру питания. Среди них встречаются хищные и мирные, животноядные, растительноядные и всеядные, планктоно- и бентосоядные. Однако на ранних стадиях развития все они проходят через фазу питания различными формами зоопланктона. У взрослых особей в процессе эволюции пищеварительная система приобрела способность адаптироваться к качеству пищи, что дало рыбам возможность осваивать различные экологические ниши. Это обстоятельство послужило биологическим обоснованием для применения в рыбоводстве искусственных кормов. В связи с этим рецептура комбикормов для различных видов и возрастов рыб предполагает вариабельность качественного состава и количественного сочетания сырьевых источников. В настоящей главе предпринимается попытка охарактеризовать основные методические подходы, которые следует использовать при составлении рецептур комбикормов.

Под комбикормом понимается смесь двух и более компонентов, подобранных по определенному рецепту и обработанных по соответствующей технологии. Основной тезис – комбикорма должны быть сбалансированными, т.е. содержать все необходимые питательные вещества в нужном количестве и оптимальном сочетании и обеспечивать реализацию потенциальных способностей организма рыб к росту, нормальное развитие и хорошее физиологическое состояние. Последнее является необходимым условием для быстрой адаптации рыб к изменяющейся среде и стрессам рыбоводной или технологической природы.

Теоретической и практической базой для создания рецептур комбикормов служат изложенные выше сведения о значении основных веществ и энергии в жизнедеятельности рыб, а также данные о потребностях в них в различные периоды развития. При этом необходимы знания о химическом составе и специфических свойствах кормового сырья, особенностях его переваривания в организме рыб. Кроме того, следует учитывать влияние технологии подготовки сырья и способов изготовления комбикормов на их питательные свойства.

В зависимости от стадий развития рыб или целей их выращивания (посадочный материал, производители, товарная продукция) комбикорма подразделяются на следующие типы:

I. Стартовые. Корма предназначены для личинок, мальков и ранней молоди. К их составу, качеству и привлекательности предъявляются наиболее строгие требования. Они должны быть не только концентратами всех питательных веществ, необходимых для обеспечения интенсивного обмена, но и содержать их в форме, доступной для развивающейся пищеварительной системы молоди. Комбикорма этого типа делятся на три основные группы.

Первая предназначена для рыб с длительным циклом эмбрионального и предличиночного развития, личинки которых при переходе на внешнее питание, имеют относительно развитую пищеварительную систему (типичные представители – лососи). Вторая – для рыб с коротким циклом эмбрионального развития и ранним переходом на внешнее питание при слабо сформированной пищеварительной системе (представитель – карп). Третья группа кормов, занимающая срединное положение, должна удовлетворять потребности личинок, обладающих к началу активного питания пищеварительной системой, функционально более развитой, чем у карповых, и менее, чем у лососевых рыб (осетровые, сиговые).

II. Ростовые. Корма для старшей молоди. Основные требования: корма должны обеспечивать нормальное развитие и физиологическое состояние рыб, а также высокую интенсивность их роста в период вегетации; накопление к осени определенного запаса питательных веществ и энергии, а также их экономную утилизацию в зимний период; способствовать высокой выживаемости и сохранению определенных ресурсов в организме для последующего роста на втором (третьем) году жизни. Этот тип комбикормов применяется в прудовом рыбоводстве при выращивании сеголеток.

III. Продукционные. Корма для возрастных групп, предназначенных для выращивания товарной продукции. Корма должны обеспечивать быстрый рост, нормальное здоровье рыб, а также высокое качество получаемой продукции и экономическую эффективность ее производства.

IV. Репродукционные. Предназначаются для ремонтно-маточного стада и производителей. Должны способствовать хорошему росту рыб, нормальному развитию и функционированию воспроизводительной системы; обеспечивать высокую резистентность потомства.

V. Специального назначения. Эти комбикорма применяются с конкретной целью, как правило, в ограниченный период (лечебно-профилактические, антистрессовые, пигментирующие и т.д.).

В практике существует два основных подхода к составлению рецептур комбикормов и подбору сырьевых источников – эмпирический и аналитический. Первый основан на традиционно применявшихся в хозяйствах рецептурах кормов и комбинации составляющих их ингредиентов в соответствии с их доступностью на рынке сырья и его стоимостью. Второй, аналитический, базируется на результатах научных работ по питанию рыб. В его основе лежит принцип соответствия содержания и соотношения отдельных питательных веществ в сумме подбираемого сырья физиологическим потребностям определенного вида рыб.

Нами предлагается новый элемент, не применявшийся ранее при разработке рецептуры комбикормов для рыб, – учет степени переваримости питательных веществ. Иными словами, в систему расчетов должны включаться коэффициенты, характеризующие доступность для организма рыб питательных веществ сырья. Это стало возможным в связи с созданием в настоящее время банка специальных данных, основное количество которых приведено в главах 1 и 3.

Несмотря на остающийся еще недостаток сведений по этим вопросам, научные данные постоянно пополняются и могут использоваться для совершенствования рецептур.

К главным составляющим комбикорма для рыб, как и для других животных, относятся:

1. Белок и незаменимые аминокислоты.
2. Жир и незаменимые жирные кислоты.
3. Углеводы.
4. Витамины.
5. Минеральные вещества.
6. Энергия.

4.2. Подбор компонентов и балансирование состава комбикормов

Как показано в предшествующей главе, ни один из общеупотребительных источников сырья и даже отдельные виды пищевых организмов не могут полностью удовлетворить потребности рыб во всех питательных и биологически активных веществах. Всегда необходима их комбинация на основе сведений о количестве и качестве содержащихся в сырье питательных веществ, их удобоваримости для рыб, доступности сырья на рынке и его стоимости. При подборе сырья должны приниматься во внимание специфические особенности каждого вида, в частности, присутствие антипитательных факторов, наличие аттрактивных или репеллентных свойств, органолептические особенности (вкус, запах, цвет). Кроме того, должны избираться способы устранения нежелательных эффектов, в частности, посредством предварительной подготовки сырья или использования технологических приемов при изготовлении комбикормов, введения антиоксидантов или других специфических добавок.

Свойства основных компонентов рыбных комбикормов описаны в предшествующей главе.

В обобщенном виде требования к содержанию основных групп питательных веществ в комбикормах для главных объектов аквакультуры изложены в главе 1 и табл. 73 и 74 настоящей главы.

Ориентировочные нормы и ограничения ввода в комбикорма различных видов сырья для объектов аквакультуры представлены в табл. 6 и 7 Приложения.

Остановимся более подробно на особенностях подбора сырья по группам питательных веществ.

4.2.1. Белок и незаменимые аминокислоты

Основная балансировка рецептов комбикормов ведется по белку. Компоненты с учетом норм и ограничений их ввода подбираются по содержанию сырого протеина в пределах диапазона его оптимальных или избранных доз для каждого вида и возраста рыб. В связи с расширением и постоянным пополнением базы данных о роли и потребностях рыб в аминокислотах, основное значение придается балансированию состава незаменимых аминокислот. С современных позиций, наиболее перспективным и точным методом признается расчет по скорам незаменимых аминокислот.

Как было показано в главе 1, аминокислотный скор ($S_{ак}$) представляет собой отношение процентного содержания незаменимой аминокислоты в корме (желательно в доступной форме), к проценту этой же аминокислоты в "идеальном" белке.

$$S_{ак} = \frac{\%\ \text{аминокислоты в кормовом белке}}{\%\ \text{аминокислоты в идеальном белке}} \cdot 100\%$$

За "идеальное" принимается то соотношение и количество аминокислот, которое удовлетворяет потребности организма и обеспечивает его оптимальный рост при минимальном уровне потребляемого белка.

Оптимальное значение скора – 100%, менее 100% – означает недостаток; более 100% – избыток. Для рыб, выращиваемых в хозяйствах индустриального типа, величина скоров лимитирующих аминокислот, свидетельствующая об относительно хорошем качестве белка, находится в диапазоне 80–95%, для рыб, выращиваемых в условиях прудовых хозяйств, в питании которых, присутствует естественная пища – в пределах 70–80%. Желательно, чтобы в сбалансированном корме показатели скоров всех незаменимых аминокислот имели близкие значения. Как указывалось ранее (см. главу 1), при низком значении скоров незаменимых аминокислот (в порядке возрастания минимальных значений скоров они называются 1-й, 2-й, 3-й и т. д. лимитирующими), вступает в силу "закон минимума". Согласно ему, дефицит лишь одной из незаменимых аминокислот приводит к по-

вышенному потреблению белка рыбами и ограничивает эффект не только от использования белка, но и корма в целом, пропорционально недостатку первой лимитирующей аминокислоты.

Возникающий при этом избыток аминокислот не безвреден для организма, так как требует дополнительных расходов энергии и пластического материала на переработку излишков белка и выделение токсических продуктов его разрушения. Это сокращает синтез мышечной ткани и активизирует липогенез, и достаточно часто – нежелательное отложение жира в печени. Кроме того, образование жира идет с потерей ценных свойств белка и снижением его продуктивного действия. В этом отношении определенную помощь может оказать табл. 2 и табл. 73.

Таблица 73. Содержание незаменимых аминокислот в "идеальном" белке для карпа и форели, %

Аминокислота	Карп (1)	Форель (3)
Лизин	6,6	6,1
Гистидин	2,4	1,6
Аргинин	5,8	5,9
Треонин	3,9	3,5
Метионин	2,2	2,9
Валин	4,6	3,1
Фенилаланин	4,6	3,0
Изолейцин	3,7	2,4
Лейцин	6,2	9,1
Триптофан	0,8 (2)	–
Тирозин	3,2	3,9

Примечание. Источники: 1 – Щербина, Салькова, 1987; 2 – Dabrovski, 1981; 3 – Cho,Cowey, 1991.

В главе 3 приведены сведения о содержании, доступности и скорах доступных незаменимых аминокислот основных видов комбикормового сырья для карпа. В табл. 8 Приложения изложен порядок лимитирования для карпа доступных незаменимых аминокислот в различных видах сырья. Подобные данные для других видов рыб в настоящее время отсутствуют. Однако в связи с установленным сходством в осуществлении пищеварительных процессов у рыб с желудочным и безжелудочным пищеварением и их однотипной реакцией на специфические свойства аминокислотного состава корма [Щербина, 1980, 1983, 1984] эти сведения могут быть использованы для ориентировочных подсчетов скоров и для других видов рыб. Кстати, они аналогичны реакциям птиц и сельскохозяйственных животных [Чернышов, Панин, 2000].

При комбинировании различных видов сырья следует помнить, что в растительных источниках, как правило, очень резко лимитируют лизин, метионин и триптофан, в отдельных случаях – фенилаланин и изолейцин. В животном сырье лимиты выражены менее резко и в основном относятся к фенилаланину и гистидину, в дрожжевом сырье – к метионину, фенилаланину и гистидину. В связи с тем, что часть метионина в процессе метаболизма и при недостатке цистина используется на его синтез, потребность в серусодержащих аминокислотах обычно выражается в суммарном количестве метионина и цистина. Присутствие в достаточных количествах заменимой ароматической кислоты тирозина сокращает потребность в незаменимом фенилаланине.

О диапазоне значений рекомендуемого количества белка и двух незаменимых, обычно лимитирующих аминокислот, можно судить и на основании табл. 2–5 и табл. 74.

Таблица 74. Усредненные данные о содержании сырого протеина и лимитирующих аминокислот в эффективных комбикормах для различных объектов аквакультуры, выращиваемых в индустриальных условиях и прудах

Вид корма	Лососевые и радужная форель	Осетровые	Сомовые		Карпы	
			садки	пруды	садки	пруды
Массовая доля сырого протеина, ≥ % сухого вещества корма						
Стартовый	45–50	48–53	42–45	–	45–50	–
Ростовой	40–45	40–45	33–38	35–36	30–40	26–30
Продукционный	38–42	36–40	25–33	29	26–30	23
Репродукционный*	50	50	–	–	–	26
Массовая доля лизина, ≥% сухого вещества корма						
Стартовый	2,6–3,0	2,5–2,8	2,6–2,8	–	2,8–3,1	–
Ростовой	2,3–2,6	2,1–2,3	1,7–1,9	1,9–2,0	1,7–2,2	1,4–1,7
Продукционный	2,2–2,4	1,9–2,1	1,3–1,9	1,6	1,4–1,7	1,3
Репродукционный*	2,6	2,6	–	–	–	1,4
Массовая доля метионина + цистина, ≥% сухого вещества корма						
Стартовый	1,8–2,0	1,4–1,6	1,4–1,5	-	1,6–1,8	–
Ростовой	1,6–1,8	1,2–1,4	1,1–1,3	1,2	1,1–1,4	0,9–1,1
Продукционный	1,5–1,6	1,0–1,2	0,8–1,2	1,0	0,9–1,1	0,7–0,8
Репродукционный*	1,8	1,6	–	–	–	0,9

*По репродукционным кормам для карповых и сомовых рыб при выращивании в индустриальных условиях научные сведения не обнаружены. При составлении таблицы использованы материалы обзоров Jauncey [1985], Kaushik [1990], Абросимовой [1997], Остроумовой [2001], и т. д.

По отдельным сведениям [Pfeffer, 1982], на 1 кг прироста форели и карпа требуется 170–160 г метаболизируемого протеина с учетом коэффициента его трансформации (утилизации), составляющего 40%, т.е. около 425 г переваримого. По нашим данным (см. табл. 18), затраты переваримого белка хорошо сбалансированного комбикорма и естественной пищи на 1 кг прироста карпов составляют 340–380 г, валового – 390–450 г. В случае снижения скоров лимитирующих аминокислот до 80–75% они возрастают до 500–550 г переваримого и 600–690 г валового.

Эффективное использование белка в организме рыб возможно при достаточном обеспечении его синтеза энергией в основном за счет безбелковых источников (углеводов и жиров). В табл. 6 приведены рекомендуемые в мировой практике соотношения переваримых протеина и энергии в комбикормах для основных объектов пресноводной аквакультуры.

При создании стартовых кормов для личинок рыб с короткой и средней продолжительностью эмбрионального развития (карповых, осетровых, сиговых), помимо аминокислотного состава, необходимо осуществлять подбор фракционного состава белка. Как указывалось выше, личинки этих видов рыб переходят к активному питанию, имея не сформировавшуюся пищеварительную систему и поэтому не способны расщеплять высокомолекулярные белки рыбной муки и других продуктов животного происхождения со скоростью, обеспечивающей высокий темп роста. Известно, что у стремительно растущих личинок этих рыб наилучшим образом потребности в белке удовлетворяются некоторыми видами дрожжей (например, эприном), гаприном, продуктами неполного гидролиза гаприна. Причина – наличие в этих видах сырья большого количества растворимых белков, имеющих в своем составе промежуточные продукты белкового син-

теза (свободные аминокислоты, пептиды, полипептиды, низкомолекулярные белки). По данному признаку физико-химический состав этих продуктов близок к составу белков естественной пищи – мелких форм водных беспозвоночных. На основании данных различных авторов составлены табл. 75 и 76, позволяющие облегчить решение этой задачи.

Таблица 75. Оптимальное соотношение белковых фракций в стартовых комбикормах для карповых, лососевых, сиговых и осетровых рыб

Показатели	Содержание		
	% абсолютно сухого вещества	% белка	% водорастворимой фракции
Стартовые корма для личинок карпа (1)			
Общий белок	50	100	–
В том числе:			
нерастворимая фракция,	25–30	50–60	–
растворимая фракция:	18–25	36–50	100
а) свободные аминокислоты	0,5–1,5	1,1–30	3,6
б) низкомолекулярные пептиды, М.м. 150–700 Да	8–12	16–23	44–48
в) высокомолекулярные пептиды, М.м. >700 Да	10–14	20–28	53–56
Стартовые корма для личинок лососей и сигов (2)			
Общий белок	50	100	–
В том числе:			
нерастворимая фракция,	15–35	30–70	–
растворимая фракция:	15–35	30–70	100
а) свободные аминокислоты	0,8–1,6	1,6–3,3	2–11
б) низкомолекулярные пептиды, М.м. 200–900 Да	0,4–1,0	0,8–2,0	1,1–6,6
в) высокомолекулярные пептиды, М.м.:			
1000–1300 Да	6–10	12–20	17–67
1300–10000 Да	1,2–3,5	2,4–7,0	3,4–23
Белки, М.м. > 10000 Да	4,5	8–10	13–30
Мелкий зоопланктон и корм для личинок осетровых (с 16-го по 40–50-й день развития) (3), *аналогичный зоопланктону*			
Общий белок	50	100	–
В том числе:			
нерастворимая фракция,	10–18	20–36	–
растворимая фракция:	32–40	64–80	100
а) свободные аминокислоты	0,1	0,2	0,3
б) низкомолекулярные пептиды, М.м. > 200 Да	2,3–4,0	4,5–8,0	7–10
в) полипептиды, М.м. 1000–1300 Да	19–34,5	38–69	60–86
г) полипептиды, М.м. >1300 Да	1,9–4,0	3,8–8,0	6–10
д) низкомолекулярный белок, М.м. >10000 Да	0,9–1,4	1,7–2,7	2,6–3,4
е) среднемолекулярный белок, М.м. 100–200 тыс. Да	0,5–0,9	1,1–1,8	1,7–2,3
ж) высокомолекулярный белок, М.м. 200–300 тыс. Да	0,2–0,5	0,4–1,0	0,7–1,3

Примечание. Источники: 1 – Ильина, 1986; 2 – Пономарев, 1995; 3 – Судакова, 1998.

И. Остроумова [2001] приводит следующие данные о распределении белковых фракций в ряде сырьевых источников и кормов для карпа (табл. 76).

Таблица 76. Распределение белковых фракций некоторых кормовых средств по молекулярной массе (М.м.)

Вид корма	Растворимый белок, % общего	Содержание, % растворимого белка		
		Свободные аминокислоты, М.м. < 240–140 Да	Низкомолекулярные пептиды, М.м. < 700 Да	Высокомолекулярные пептиды, М.м. > 700 Да
Паприн	21	3	26	71
Ферментолизат паприна	43	4	38	58
Эквизо	28	3	45	52
Живые науплии артемии	70	1–5	39–51	44–60

На основании многолетних исследований Н. Абросимова [1997] предложила следующий состав белковой части стартовых комбикормов для молоди осетровых при 48–53%-ном содержании общего белка: растворимые белки 31–37% от общего количества, из них – свободные аминокислоты – 2–3%, олигопептиды – 11–14%, низкомолекулярные полипептиды – 40–47%.

4.2.2. Жир и незаменимые жирные кислоты

Характер липидной части корма определяется в основном качественным составом и количественным содержанием жиров в источниках сырья, подобранных в рецепт. Если после сопоставления их величин с потребностью рыб данного вида и возраста выясняется недостаточность общих липидов или отдельных незаменимых жирных кислот, то она устраняется путем дополнительного введения соответствующих количеств различных жиров (растительных, рыбьих, других гидробионтов, наземных животных) или их смесей.

Недостаточность в кормовых смесях линолевой кислоты можно восполнить включением таких растительных масел, как подсолнечное, кукурузное, соевое, в составе которых на ее долю приходится соответственно около 65, 60 и 50%. Источником линоленовой кислоты может служить льняное масло (> 75%) и препараты из него, например, линетол. Детализированный жирнокислотный состав растительных масел и животных жиров представлен в табл. 9 и 10 Приложения.

Высоконенасыщенные жирные кислоты (эйкозапентаеновая, эйкозагексаеновая, докозагексаеновая) в количествах 10–12% (от общего состава жирных кислот) содержатся в жирах из морских рыб, арахидоновая – в жирах теплолюбивых пресноводных.

В качестве энергетической добавки обычно используют растительные масла и животные жиры, богатые олеиновой кислотой (18:1n-9). К ним относятся оливковое (с содержанием ее около 76%), арахисовое (~ 60%), рапсовое безэруковых сортов (40–48%), свиное и говяжье сало, рыбий жир (40%). Насыщенная пальмитиновая кислота содержится в сырье в меньших количествах (27% – в свином и говяжьем сале, 10–12% – в оливковом, арахисовом, кукурузном и соевом маслах).

При количественном подборе следует учитывать, что переваримость незаменимых ненасыщенных кислот колеблется в пределах 85–90% вне зависимости от их уровня в корме. Животные жиры (говяжье и свиное сало) перевариваются на 65–75%. Общие липиды кормов в пределах оптимальных норм доступны рыбам в среднем на 76–80%, при очень низких количествах (в пределах минимума) – существенно меньше. Например, для карпа при 2,5%-ном содержании жира в корме переваримость снижается до 50% [Щербина, 1973, 1973а]. При его содержании ниже 2,5% начинается эндогенная экскреция, т.е. выделение из организма в кишечник не пищевых, а собственных запасных и тканевых жиров, направленное на поддержание стабильности химического состава всасываемой смеси.

Усредненные данные о содержании общих липидов в эффективных комбикормах, вырабатываемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 77.

Таблица 77. Усредненные нормы содержания общих липидов в комбикормах для различных видов рыб, выращиваемых в индустриальных условиях и прудах

Вид корма	Массовая доля общих липидов, ⩾ % сухого вещества корма					
	Лососевые и радужная форель	Осетровые	Сомовые		Карпы	
			садки	пруды	садки	пруды
Стартовый	11	9	8	–	8	–
Ростовой	8–10	8–14	9	7	7	4,5
Продукционный	12	8–14	6	5	5	3
Репродукционный	10	10	–	–	–	4,5

В ней указан нижний предел содержания жира в кормах, который может быть повышен в соответствии с требованиями Э/П (отношение переваримый протеин/переваримая энергия) при наличии технических возможностей введения жиров в комбикорм у производителя.

Для балансировки жирнокислотного состава по незаменимым элементам в соответствии с потребностями рыб следует использовать табл. 7 и 8 первой главы. В табл. 32, 47, 54 содержатся сведения о содержании и переваримости общих липидов в основных видах сырья, а жирнокислотный состав растительных масел и животных жиров – в табл. 9 и 10 Приложения.

Следует отметить, что недостаток жиров, кроме снижения общей калорийности корма, может дать нежелательный эффект из-за отсутствия или недостаточного количества высоконенасыщенных жирных кислот в диете. Возможно влияние и на белковую питательность кормов, так как существуют данные [Кремер, 1965], согласно которым при отсутствии незаменимых жирных кислот в рационе наблюдается усиление экскреции азота из организма.

4.2.3. Углеводы

Углеводистая часть корма, также как и липиды, не балансируется, а в основном подвергается коррекции. Она представлена углеводами ингредиентов, входящих в рецепт. В то же время их пищевая ценность не адекватна относительному содержанию в корме. Углеводы в силу своего происхождения (животные, растительные, микробиальные) различаются по структуре, химическому составу и степени доступности для рыб. Дело в том, что в них разное соотношение запасных (крахмала, гликогена) и очень слабо переваримых структурных полисахаридов (целлюлозы, хитина, гемицеллюлоз, мукополисахаридов и т. д.). Поэтому в интегральном выражении они должны рассматриваться с энергетических позиций, т.е. в качестве источника доступной для организма безбелковой энергии.

Как показано в разделах 1.3 и 2.4.3, в комбикормовой промышленности основным энергетическим источником служит зерновое сырье. Именно оно считается носителем усвояемой энергии в виде крахмала и сахаров. Отдельные виды зерна могут содержать до 50% крахмала. Однако нативный крахмал злаков переваривается у различных рыб в среднем на 20–50%, картофельный – на 10%. Сахара, олигосахариды и низкомолекулярные декстрины полисахаридов извлекаются из кишечника рыб на 70–90%. В то же время их количество в нативном (необработанном) сырье обычно невелико, и поэтому они не играют существенной роли.

Содержащиеся в растительном сырье трудногидролизуемые углеводы, к которым относятся такие некрахмалистые полисахариды, как клетчатка, пентозаны и другие, так называемы глюканы, а также гемицеллюлозы, лигнин, пектиновые вещества, перевариваются у рыб менее чем на 25–35%, либо полностью не перевариваются. Именно с плохой доступностью углеводов связана низкая (~ 50–60%)

переваримость кормов у рыб в целом, особенно тех видов кормов, в которых преобладают растительные компоненты, а также недостаточная обеспеченность белка переваримой энергией при высоких значениях ее валовых показателей.

Одним из эффективных способов повышения питательности, и в частности, энергоемкости этой части кормов, является гидробаротермическая обработка. К примеру, после экструзии зерновых по специальной технологии, которая способствует высокому уровню клейстеризации и декстринизации крахмала, его доступность для рыб может возрасти до 70–85%. Одновременно происходят изменения в структуре и питательных свойствах целлюлозно-лигнинного комплекса, в результате чего резко возрастает его переваримость. Таким образом, использование технологической обработки углеводистого сырья, не изменяя его состава в рецепте, сбалансированном по белку, позволяет влиять на соотношение П/Э.

В то же время основную часть трудногидролизуемых углеводов, которая в современной диетологии носит название "пищевые волокна", даже в неэкструдированных кормах нельзя рассматривать в качестве бесполезных элементов питания. Придавая объемность концентрированным комбикормам и усиливая перистальтику кишечника, они способствуют нормальному осуществлению процессов пищеварения. Пищевые волокна, разбавляя питательные вещества, делают комбикорма менее концентрированными и тем самым создают лучшие условия для их контакта с пищеварительными соками.

Кроме того, эти балластные компоненты служат субстратом для кишечной микрофлоры, участвующей в симбионтном пищеварении. Бактериальный биоценоз кишечника, или "энтеральная микрофлора", синтезирует основное количество витамина B_{12}, много витамина С, частично фолиевую кислоту (витамин B_c) и инозитол (витамин B_8), а также ферменты, разрушающие пентозаны (ксиланы, арабаны), целлюлозу, β-глюканы, пектиновые вещества и гемицеллюлозы. В совокупности кишечные и микробные ферменты переваривают у карпа до 10–35% растительных волокон, у форели – до 40%. Кроме того, деятельность нормальной кишечной микрофлоры обеспечивает в организме рыб становление иммунитета [Уголев, Кузьмина, 1993].

Основные сырьевые источники пищевых волокон – жмыхи и шроты масличных культур, которые включаются в комбикорма для рыб в основном как источники белка.

Оптимальные уровни трудногидролизуемых углеводов (в основном целлюлозы), выражаемые в виде % клетчатки, составляют в комбикормах для форели 2–3%, переносимые до – 10–15%, у карпа они существенно выше.

Более детально вопросы углеводного питания и содержания различных групп углеводов в кормах рассмотрены в разделе 1.3. В разделе 2.4.3. охарактеризована доступность для рыб углеводов различных сырьевых источников. В главе 3 описаны питательные свойства и специфические особенности основных растительных компонентов комбикормов для рыб. В табл. 11 Приложения представлено примерное содержание в некоторых видах сырья некрахмалистых полисахаридов, практически непереваримых животными без специальной обработки.

4.2.4. Минеральные вещества

Основное количество минеральных элементов вносится в комбикорм с теми видами сырья, которые подбираются при балансировке органической части. В связи с наличием у рыб двух путей поступления в организм минералов: алиментарного (с пищей) и осмотического (через жабры, слизистую рта и покровные ткани), дополнительного введения обычно требуют те элементы, которые присутствуют в воде и в сырье в следовых количествах или в формах, плохо доступных действию пищеварительных ферментов. Поэтому коррекция минеральной части корма актуальна при разработке рецептур комбикормов для тех хозяйств, которые расположены на слабоминерализованных водах или в биогеохимических провинциях, дефицитных по микроэлементам (обычно таких, как йод, марганец, молибден, кобальт).

Актуален вопрос об обогащении комбикормов макроэлементами в случае выращивания рыб в индустриальных хозяйствах особенно с рециркуляционным водообеспечением.

Потребности в таких макроэлементах, как кальций и магний, при нормальной минерализации воды удовлетворяются за счет их солей, растворенных в воде. Кроме того, наряду с натрием, калием, хлором и серой они присутствуют в основных источниках белкового сырья – компонентах животного и дрожжевого происхождения, а также в жмыхах и шротах (см. раздел 1.4. главы 1 и таблицы главы 3). Поэтому в рецептах продукционных комбикормов, предназначенных для прудовых рыб, в хозяйствах с нормальным гидрохимическим режимом, добавки кальция и магния не обязательны. Напротив, в случае сильной минерализации воды (при жесткости 10 немецких градусов и более) и содержании кальция более 40 мг/л обогащение комбикормов кальцием вызывает торможение роста и снижение эффективности кормления рыб.

В то же время для быстрорастущей молоди, которая обладает повышенной потребностью в костеобразующих элементах (Ca, Mg, P), в рецептуру стартовых комбикормов для всех видов рыб, выращиваемых в хозяйствах различных типов, целесообразно вводить минеральные добавки в виде мела, муки из ракушечника, костной муки, специальных премиксов и т. д.

Особое положение среди макроэлементов занимает фосфор. Потребность в нем велика и удовлетворяется алиментарным путем. В кормовых организмах и естественных субстратах он заключен в достаточно хорошо усвояемых для рыб формах. В животном сырье, в частности рыбной и мясокостной муке, он присутствует в виде гидроксиапатита, не растворимого в воде и слабых щелочах и плохо растворимого в кислотах. Поэтому он трудно поддается усвоению, особенно у безжелудочных рыб. В зерновых, жмыхах и шротах фосфор обычно находится в виде фитатов – солей, соединенных с фитиновой кислотой, также плохо доступных для рыб. Это хорошо иллюстрируется табл. 24, где показано, что основная часть фосфора зерна злаков представлена фитатами. Низкая доступность фосфора фитатов связана с отсутствием у рыб, также как и у сельскохозяйственных животных, фермента фитазы.

Количество фосфорной добавки рассчитывают по разности между потребностями рыб в фосфоре и содержанием доступного фосфора в сырье. Наиболее полные табличные данные по доступности фосфора в настоящее время имеются только для карпа (см. табл. 24–25). Однако в силу установленного сходства в процессах переваривания пищи у безжелудочных и желудочных рыб [Щербина, 1980, 1984] указанные коэффициенты доступности фосфора растительного сырья могут быть использованы в качестве ориентира не только для других карповых, но и для лососевых рыб, а также для тиляпии и канальных сомов. Доступность фосфора гидроксиапатитов животного сырья для рыб с солянокислым пищеварением в желудке несколько выше, чем у безжелудочных карповых (табл. 25 главы 2).

Фосфорные добавки обычно включают и в комбикорма в количестве 1–3% в виде солей одно–двухзамещенных фосфатов калия, натрия, кальция, а также ди- и триаммоний фосфатов. Трикальцийфосфат как очень плохо растворимая форма не желателен, так как чаще всего оказывает на обмен веществ и рост рыб, особенно безжелудочных, отрицательное действие [Щербина, Чяпулис, Гамыгин, 2000]. К тому же при избытке кальция он содержит мало фосфора.

Особое значение имеют добавки фосфора к стартовым комбикормам, предупреждающие развитие скелетных аномалий. В НТЦ "Аквакорм" ВНИИПРХ апробирован специальный комплекс для личинок карпа, включающий соли макро- и микроэлементов. Его состав (на 100 г корма): KH_2PO_4 – 3 г (680 мгР), $ZnSo_4 \cdot 7H_2O$ – 88 мг (20 мг Zn), $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ – 36 мг (10 мг Mn), витамин С – 500 мг (или в виде полифосфата – 150 мг) [Щербина, Гамыгин, Салькова, Боева, 1992].

Особенности компонентного состава сырья в комбикормах в ряде случаев требуют коррекции и микроэлементного состава. Так, в случае, если белковая часть формируется в основном за счет дрожжевого сырья (рецепты ЭКВИЗО, РКС-3М,

ВБС-РЖ-85 и др.), то комбикорм следует обогащать микродозами селена и йода (соответственно 0,1 мг селенита натрия Na_2Se_3 и 1,0–1,5 мг KI на 1 кг корма [Дума, 1987]). При высоком уровне рыбной муки (комбикорма для лососевых), корм нуждается в дополнительном введении марганца, меди, цинка, так как в сырье они могут находиться в форме фитиновых солей, и, несмотря на высокое содержание этих элементов в муке, они не могут удовлетворить потребности рыб. По этой же причине почти во все типы стартовых комбикормов следует вводить соли марганца и цинка, так как они являются участниками кальциево-фосфорного обмена в процессе костеобразования.

Теория и прикладные аспекты минерального питания, а также физиологическая роль отдельных макро- и микроэлементов в сырье и доступности для рыб достаточно подробно рассмотрены в специальных разделах первой и второй главы и сопровождены табличными материалами.

При подборе минеральных премиксов для рыб большое значение имеет форма солей. Хлориды и сульфаты хорошо усваиваются в организме, однако из-за гидрофильности легко вымываются в воде и способствуют разрушению витаминов в процессе хранения кормов. Карбонатные формы и окислы не содержат в своем составе воды и практически нерастворимы, однако плохо усваиваются в организме. В настоящее время вопросы оптимального сочетания солей в премиксах находятся в стадии активного изучения. Кроме того, имеет значение синергическая или антагонистическая направленность взаимодействия минералов и витаминов в премиксах, а также при изготовлении и хранении комбикормов с их включением. Эти вопросы обсуждены ранее в разделах 1.4; 1.5 и 2.4.4.

4.2.5. Витамины

Первоначально набор и количественное соотношение различных групп витаминов в рецептах также является следствием подбора сырьевых источников при балансировании белковой части рецепта. В то же время в процессе технологической подготовки сырья (сушки, дробления, тостирования и т.д.) и изготовления комбикормов различными способами, предполагающими гидротермическую или гидробаротермическую обработку (гранулирование, экспанидирование, экструдирование), и последующем хранении значительная часть витаминов разрушается. Особенно сильное разрушающее воздействие оказывает экструдирование (см. табл. 15 и раздел 5.3.2). Подробно влияние всех технологических процессов и условий хранения комбикормов на сохранность витаминов рассмотрено в главах 1 и 5.

В наибольшей степени отрицательное влияние технологической обработки кормов сказывается на активности витаминов при их складировании и последующем хранении. Интенсивность разрушительного действия технологий идет по возрастающей: смешивание > размол > сухое прессование > экспандирование > экструдирование. Поэтому заранее предполагается, что содержание витаминов в комбикорме не может удовлетворить всех потребностей рыб, и в условиях индустриального выращивания в корма вводят поливитаминные премиксы практически вне зависимости от используемого сырья. При этом полагают, что если и создается избыток некоторых витаминов, то он частично разрушается в процессах изготовления и хранения корма, а также экстрагируется в воде. Кроме того, этот избыток может быть использован рыбами в неблагоприятных условиях среды, вызывающих производственные, гидрохимические и температурные стрессы, а также при наличии заразного начала, голодании и т.д.

Для прудовой аквакультуры благодаря присутствию естественной пищи в рационах рыб премиксы должны иметь пониженный уровень витаминов B_3, B_4, B_5, B_7 или отсутствовать в рецепте совсем.

Характеристика ряда отечественных и зарубежных премиксов приведена в табл. 3 и 4 Приложения. Предлагаемый состав витаминов в этих премиксах базируется на результатах большого числа исследований и многолетнем практическом опыте.

Дозировки витаминов в премиксах и рекомендации по их процентному вводу гарантируют удовлетворение потребностей рыб в витаминах с учетом возможного влияния перечисленных факторов. В табл. 13 дана информация о возможных изменениях уровня витаминов в комбикормах в зависимости от различных условий, таких как средняя потребность, ее биологическая вариабельность, ориентировочные потери в процессе изготовления, транспортировки и хранения, а также в условиях стресса. Кроме того, здесь содержатся как максимально допустимые, так и минимальные количества витаминов в рационах с учетом вероятности изменения активности препаратов при технологических процессах.

4.2.6. Энергия

Потенциальная энергия корма формируется за счет энергии переваримой части органических веществ. Ее коррекция осуществляется в основном посредством введения липидных добавок или использования таких технологических приемов кормопроизводства, которые повышают переваримость углеводов, увеличивая количество декстринизированного и клейстеризованного крахмала, а также продуктов разрушения целлюлозно-лигнинного комплекса.

По современному научному подходу основным критерием для оптимизации энергии рационов служит нарушение оптимального для роста рыб отношения "протеин-энергия". Это отношение выражается в количестве переваренного белка (в мг) на 1 кДж переваримой энергии. Как было показано в разделе 1.6, расчет ведется по формуле:

$$П/Э = \frac{\text{Переваримый белок в 100 г корма, мг}}{\text{Переваримая энергия в 100 г корма, кДж}}.$$

Рекомендуемый диапазон этих показателей для различных видов рыб приведен в табл. 5. Для карпа при условии аминокислотной сбалансированности комбикормов П/Э находиться в пределах 19–24 мг переваримого белка на 1 кДж переваримой энергии. Для молоди лососевых оптимальные соотношения в кормах от 19 до 25, для старших возрастов – 21–23, для молоди канального сома – от 24 до 30 мг переваримого белка на 1кДж.

При создании рецептуры комбикормов надо учитывать, что эффективность различных источников энергии в кормлении рыб зависит от особенностей биологии вида и температурных условий выращивания. В питании холодноводных рыб основной источник энергии – липиды, в частности триглицериды ненасыщенных кислот, второй, а нередко и первый по значению – белки. Углеводы не играют столь существенной роли, как у тепловодных рыб, у которых белки и углеводы корма дают почти равное количество переваримой энергии, а жиры – меньшее в 2–3 раза.

Экономия протеина в составе рыбных комбикормов возможна, если включать оптимальные количества таких безбелковых источников энергии, как жиры и углеводы. Зарубежная практика показывает высокую продукционную эффективность обогащения комбикормов для лососевых липидами до уровня 25–30% и даже больше при наличии 40–45% протеина. Для увеличения доли безбелковой энергии за счет углеводов целесообразна гидробаротермическая обработка сырья.

Близкое к оптимальному распределение энергии в кормах для форели предлагает С. Кошик [Kaushik, 1990]:

валовая энергия – 17–21 кДж/г сухого вещества,

переваримая энергия – 14–17 кДж/г сухого вещества,

энергия липидов – 25–50% от общей, П/Э – 20–25 мг белка на 1 кДж.

Нами установлено распределение энергии в комбикормах для карпа приведенное в табл. 78.

Благодаря экономии протеина за счет обогащения комбикорма безбелковой энергией повышается эффективность трансформации белка корма в организме рыб, увеличивается его отложение и снижается загрязнение воды вследствие уменьшения выделения экскрементов и метаболических потерь.

Таблица 78. Распределение энергии в эффективных комбикормах, полученное в экспериментах по кормлению карпа (по Щербине, 1999)

Показатели	Типы комбикормов для карпа			
	Ростовой			Продукционный для двухлеток
	для молоди массой 0,5–10 г	для сеголеток массой 1–25 г	для годовиков массой 20 г и более	
Экспериментальные данные				
Энергия, кДж/г сухого корма:				
валовая	19,6	20,5–20,9*	19,4**–19,4	18,9
переваримая	15,1	16,4–17,0	14,5–11,6	11,1
Энергия переваримых веществ, % общей	77	80–81	75–60	59
Энергия веществ, % переваримой:				
белка	56	58–44	56–50	45
липидов	13	15–20	17–10	14
углеводов	31	27–36	27–40	41
П/Э, мг белка/1 кДж	23	24–19	24–21	19
Расчетные данные				
Энергия, кДж/г сухого корма:				
валовая		19,2	19,1	19,3
переваримая		11,6	11,6	11,4
Энергия переваримых веществ, % общей		60	61	59
Энергия веществ, % переваримой:				
белка		49	40	44
липидов		6	6	6
углеводов		45	54	50
П/Э, мг белка/1 кДж		21	17	19

*Питание рыб личинками хирономид.

**Питание дафниями.

Более подробно эти вопросы рассмотрены в разделах 1.1–1.2 и 1.6.

Заканчивая раздел, посвященный принципам подбора компонентов в рецепты, следует отметить, что балансирование, как правило, ведется по белковой составляющей, и в частности, по незаменимым аминокислотам, как с целью избежания их дефицита, так и устранения избытка.

Липидная часть обусловлена качественным и количественным составом жиров компонентов, используемых при балансировке белков. Она корректируется в соответствии с потребностями в общем количестве липидов и физиологически важных жирных кислот за счет дополнительного включения в рецепты жиров различного происхождения.

Количество и качество углеводов в комбикормах полностью определяется их составом в компонентах после балансировки белка. Улучшения питательной ценности этой части комбикорма можно достичь за счет технологической обработки сырья перед включением в комбикорм или при его изготовлении (термической, гидро- или гидробаротермической обработки с целью повышения уровня клейстеризации крахмала и модификации целлюлозно-лигнинного комплекса).

После этого рассчитывается энергетическая обеспеченность разрабатываемого рецепта путем подсчета валовой и переваримой энергии и определения энергетической обеспеченности переваримого белка переваримой энергией, т.е. П/Э. В случае обнаружения недостатка в энергии она восполняется за счет введения растительных или животных жиров или применения гидробаротермической обработки углеводистого сырья или изготовления комбикорма по технологии экструдирования или экспандирования.

Витаминная часть рецептов стартовых, ростовых и репродукционных кормов, а также продукционных для выращивания рыб в индустриальных условиях нуждается в пополнении поливитаминными премиксами.

Из минеральных элементов к их качеству и количеству в подобранном сырье обычно добавляют фосфорные соли, содержащие этот элемент в легкодоступной форме. В биогеохимических провинциях, дефицитных по микроэлементам, в комбикорма дополнительно вводят их соли.

Кроме перечисленных питательных веществ, в состав рецептов могут включаться связующие агенты, вводимые внутрь или на поверхность. К их числу относится лигносульфонат, карбоксиметилцеллюлоза, альгинат натрия, бентонит, поливинилпирролидон, хитозан и его композиции и другие. Они обеспечивают прочность и водостойкость гранул и крупки искусственных кормов. В корма с высоким содержанием жиров вводят стабилизаторы липидов (антиоксиданты). Для усиления окраски мяса и кожных покровов рыб в корма могут быть включены пигменты. Они относятся в основном к группе каротиноидов (астаксантин, кантаксантин и др.). Кроме того, возможно введение атрактантов, а также лекарственных препаратов.

Желательно, чтобы в сопроводительном документе к рецептуре были указаны пределы оптимальных температур их применения. Известно, что снижение температуры воды сокращает потребность рыб в протеине, увеличивает потребность в энергии. Также необходимы указания на оптимальный кислородный режим.

В сопроводительном документе к рецепту комбикорма должны быть указаны:
– название (или шифр) комбикорма,
– для какого вида и массы рыб комбикорм предназначен,
– перечень компонентов,
– способ изготовления,
– размер гранул или крупки,
– водостойкость,
– гарантированное содержание основных питательных веществ (сырого протеина, лизина, метионина или метионина + цистин, сырого жира, углеводов в валовых и переваримых веществах), клетчатки, золы, общего и доступного фосфора, валовой и переваримой энергии.

Желательно также, чтобы в сопроводительном документе были указаны рекомендуемые нормы кормления в зависимости от размеров рыб (массы, длины), размеров гранул и температуры воды.

4.3. Способы расчета состава рецептов комбикормов

Как указывалось выше, расчеты рецептов строятся на основе табличных данных химического состава сырья, а также сведений о переваримости главных компонентов и наличии в доступной форме таких эссенциальных факторов, как незаменимые аминокислоты и жирные кислоты, фосфор и т.д.

Подбор компонентов и балансировка состава рецептур могут вестись путем подсчета доли всех питательных веществ в планируемом наборе сырья вручную или с помощью компьютера. При этом количество питательного вещества, вводимого с определенным компонентом, рассчитывают по формуле

$$Vs = V_{1...n}/100 \cdot K_{1...n},$$

где Vs – питательное вещество, кг; $V_{1...n}$ – содержание питательного вещества в каждом из компонентов, %; $K_{1...n}$ – планируемое количество определенного компонента в комбикорме, кг.

Общее количество вещества выражается как сумма питательных веществ:

$$\Sigma = Vs^1+Vs^2+ ...+Vs^n.$$

Для более точной балансировки кормов ведут определения доступной для рыб доли питательного вещества из всех вносимых компонентов, вводя в формулу коэффициенты переваримости ($A_{1...n}$):

$$\Sigma_{VSA} = 1/100 \cdot [(Vs_1 \cdot A_1) + (Vs_2 \cdot A_2) + ...+ (Vs_n \cdot A_n)], \text{ кг.}$$

Количество компонентов в комбикорме, как правило (если не преследуются иные цели) должно находиться в пределах указанных в рецептах или таблицах рекомендуемых норм ввода отдельных компонентов (табл. 6 и 7 Приложения). В табл. 6 Приложения даются нормы введения и заменяемости основных источников сырья при изготовлении комбикормов для прудового карпа. Эти нормы разработаны в результате многолетних исследований, проводившихся во ВНИИПРХ и других научно-исследовательских институтах по оценке индивидуальной питательности различных видов сырья, а также продукционных свойств комбикормов, содержащих различные сочетания компонентов.

Для расчета с использованием скоров доступных аминокислот Н. Рекубратский [Рекубратский, Щербина, 1999] предложил формулу:

$$Sai = \frac{\sum_{j=1}^{n=10} P_j \cdot S_{ji} \cdot F_j}{\sum_{j=1}^{n} P_j \cdot F_j}, (i = 1, 2, 3, ..., 10); (j = 1, 2, 3, ..., n),$$

где Sai – скор i-й аминокислоты в кормосмеси; P_j – содержание протеинав j-м компоненте кормосмеси, %; S_{ji} – скор i-аминокислоты в j-м компоненте; F_j – доля j-го компонента в кормосмеси, %; n – число компонентов в кормосмеси.

Оптимизация состава комбикормов с использованием вычислительной техники. Вышеприведенные рекомендации по подбору сырья в рецептуры комбикормов и расчеты содержания питательных веществ показывают, что балансирование обычными методами представляет значительные трудности. При этом всегда остается сомнение в оптимальности конечного варианта, так как необходимо учитывать свыше 60 параметров, в том числе специфические особенности сырьевых источников, нормы их ввода, характеристики химического состава и требуемое содержание различных видов питательных и биологически активных веществ. Это – уровни протеина, незаменимых аминокислот, липидов, жирных кислот, легко- и трудногидролизуемых углеводов, клетчатки, макро– и микроэлементов, витаминов.

Один из вариантов решения – использование метода линейного программирования (симплекс-метода) [Гамыгин и др., 1977]. Математическая модель задачи в сокращении имеет вид:

$$\sum_{j=1}^{n} = CjXj \rightarrow \min$$

$$\text{при условии } \sum_{j=1}^{n} = VyXj \geqslant bi; (i = 1, 2, 3, ..., m); (xj \geqslant 0) (j = 1, 2, 3, ..., n),$$

где Cj – стоимость j-го вида корма; Xj – количество корма j-го вида, входящего в рацион; Vy – содержание i-го элемента питания в единице j–го корма; bi – минимально допустимое количество i–го элемента питания в корме; n – количество компонентов корма; m – количество учитываемых элементов питания (i).

Целевой функцией может быть любой показатель, в частности, стоимость корма, питательность по различным веществам при заданных ограничениях дорогих или дефицитных кормовых средств.

Одним из критериев питательности может быть принята сбалансированность кормосмеси по незаменимым аминокислотам, при которой сумма квадратов разности между требуемым и расчетным их абсолютным содержанием или соотношением должна быть минимальной [Антонюк, Вощинин, 1983].

Отличие решения этой задачи от предыдущей сводится лишь к другому критерию оптимальности:

$$\sum_{i=1}^{10} = (P_i^{рас} - P_i^{треб}) \rightarrow \min,$$

где $P^{рас}$ и $P^{треб}$ – соответственно расчетное и требуемое содержание i-й незаменимой аминокислоты в корме.

При этом уточняются условия по содержанию других питательных веществ и составу ингредиентов, представленных в предыдущей задаче.

Однако общее содержание незаменимых аминокислот в корме не характеризует их физиологическую питательность. Известно, что недостаток отдельных незаменимых аминокислот влияет на рост рыб по принципу лимитирования, не позволяя организму эффективно использовать остальные, находящиеся в достаточном количестве. Их избыток сопровождается дезаминированием и увеличением экскреции азота, а следовательно, снижает продукционную эффективность белка и увеличивает азотное загрязнение воды. Поэтому дальнейшая оптимизация расчетов белковой части комбикормов была проведена с использованием показателей доступности незаменимых аминокислот и их скоров.

С этой целью Н. Рекубратский [Рекубратский, Щербина, 1999] предложил для оптимизации белка кормосмесей следующие целевые критерии, которые наиболее тесно коррелируют с продукционными свойствами корма:

$$\min(Sai) \rightarrow \max \quad (I)$$

$$\sum_{i=1}^{10} y_i \rightarrow \min;\ y_i = \begin{cases} (Sai-100)^2;\ Sai-100 \le 0 \\ (Sai-100);\ Sai-100 < 0 \end{cases} \quad (II)$$

где Sai – скор i-й доступной незаменимой аминокислоты j-го компонента.

Критерий I представляет собой наибольший уровень минимального скора лимитирующей аминокислоты. Он позволяет эффективно балансировать кормосмесь по дефицитным (лимитирующим) аминокислотам, однако не чувствителен к избытку аминокислот.

Критерий II представляет собой минимальную величину, полученную от суммирования положительных отклонений и квадратов – отрицательных. Его преимущество состоит в учете не только отрицательных, но и положительных отклонений. В то же время он наиболее чувствителен к недостатку аминокислот, чем к их избытку.

По предложению Н. Рекубратского оптимизацию белка кормосмесей по указанным критериям удобно проводить в системе электронных таблиц Microsoft Excel 5,0 с помощью подпрограммы "Solver".

В заключение следует сказать, что способы расчета рецептур комбикормов для рыб не исчерпываются приведенными примерами. Содержащийся в монографии цифровой материал может послужить основой для разработки новых и более совершенных подходов к расчетам оптимального состава комбикормов.

Глава 5

Технологические способы изготовления комбикормов

Особенности строения пищеварительного аппарата рыб, форма и размеры рта и глотки, видовой и возрастной характер их питания определяют требования к структуре, консистенции комбикорма и размерам его частиц.

Для личинок и ранней молоди всех видов рыб, которые питаются в толще воды, частицы комбикорма, помимо соответствия размерам ротового отверстия и глотки, должны иметь хорошую плавучесть, медленно опускаться на дно и быть защищенными от экстракции в воде. Требования подросшей молоди и взрослых особей приобретают специфические видовые особенности. К примеру, для лососевых – пелагических хищников с порционным питанием, которые способны быстро над водой или в толще воды хватать и заглатывать пищу, частицы комбикорма должны иметь овально-шарообразную форму, не очень твердую консистенцию и могут быть как тонущими, так и плавающими, хотя предпочтение отдается медленно погружающимся. Водостойкость гранул для них не имеет такого значения, как для медленно питающихся бентосоядных рыб. Однако после заглатывания гранулы должны быстро впитывать воду и пищеварительные соки до нормальной влажности химуса (~ 80%). К примеру, радужная форель, захватившая в толще воды 10 г гранул (первоначальная влажность около 10%), выделяет из организма в желудочно-кишечный тракт около 10 г воды, а при потреблении 10 г пастообразного корма влажностью 45% – 4–6 г воды [Щербина, Трямкина и др., 1976; Щербина, 1980].

Корма для осетровых – придонных хищников и бентосоядов, медленно подбирающих пищу со дна, должны обладать достаточной водостойкостью, которая препятствует механическому размыванию корма и экстракции питательных веществ в воде, а также способствовать сохранению формы гранул в процессе набухания. В промышленных условиях, как правило, используются тонущие гранулы, и лишь при очень высокой плотности посадки (например, в УЗВ) достаточно эффективны плавающие комбикорма.

Карп – мирная, преимущественно бентосоядная рыба с выдвижным сосущим ртом и глоточными зубами, дробящими и перетирающими пищу. Он подбирает пищу со дна или захватывает ее в толще воды. Крупные объекты (моллюски, сухие гранулы) ему приходится неоднократно дробить, выплевывая и подбирая вновь, и только затем заглатывать. Кроме того, карп обладает способностью засасывать густые взвеси детрита или распыленного комбикорма, обсасывать обрастания или набухшие поверхности гранул. После внесения комбикормов в пруды по принятой технологии он быстро насыщается, и оставшийся на дне комбикорм размывается и экстрагируется в воде до следующего подхода проголодавшихся рыб. Эти особенности предполагают необходимость использования достаточно прочных гранул, обладающих хорошей водостойкостью.

Из сказанного ясно, что требования, предъявляемые к комбикормам для рыб, диктуют необходимость выбора различных технологических подходов к их изготовлению. В то же время разработка технологических способов производства комбикормов для рыб облегчается наличием большого сходства в осуществлении пищеварительных процессов у рыб и теплокровных животных и их сходных реакций на специфические свойства кормовых средств [Щербина, 1970, 1971а, 1973, 1973а, 1980, 1983, 1984]. Поэтому большинство технологий, используемых в кормопроизводстве для сельскохозяйственных животных, может быть применено и для рыб.

Однако, как указано выше, перед изготовителями комбикормов для рыб стоят более трудные задачи. Во-первых, существует необходимость свести к минимуму потери кормов от разрушения при транспортировке и от выветривания на воздухе в процессе кормления рыб в прудах. Во-вторых, иная среда обитания рыб требует еще и минимизации потерь от механического рассеивания и экстракции питательных веществ в воде. В-третьих, малые размеры рыб, особенно личинок и мальков, а также специфика строения и функционирования их пищеварительной системы, диктуют необходимость очень тонкого измельчения смеси перед изготовлением гранул. Для личинок же необходимо супертонкое измельчение до размера частиц менее 0,1–0,2 мм. В-четвертых, разнообразие размеров ротового отверстия у рыб требует изготовления разноразмерных крупок и гранул в диапазоне от 0,1 до 10–15 мм.

Изготовление комбикормов обеспечивается системой технологических приемов, которые включают сложные ступени обработки сырья (механическую, термическую, термомеханическую, гидротермическую, гидробаротермическую и т.д.). В разной степени эти приемы воздействует на физико-механическую структуру и химический состав сырья и изменяют его питательные свойства. С позитивной стороны – это повышение переваримости корма за счет разрушения клеточных оболочек, денатурации белков, изменения структуры крахмала, ослабления связей минералов, разрушения токсических веществ и т.д. С негативной – разрушение белков и аминокислот, витаминов, окисление липидов, образование устойчивых к действию пищеварительных ферментов соединений аминокислот с углеводами, минеральными элементами и другими веществами.

Все перечисленное определяет главное требование к избираемой технологии – она не должна снижать питательные свойства компонентов. Если это недостижимо, то необходимо свести возможные потери к минимуму, а преимущества – к максимуму. Оптимальное решение вопроса – с помощью различных видов обработки добиться повышения питательности комбикормов за счет изменения физических и химических свойств сырья, улучшения переваримости и усвоения питательных веществ у рыб.

Как было показано выше (см. главу 3), почти во всех сырьевых источниках, используемых в кормопроизводстве, содержатся либо структурные соединения, вызывающие токсические эффекты, либо ядовитые вещества, образуемые микрофлорой при неправильном хранении (трихотеценовые, фузаревые токсины, охра- и афлатоксины и т.д.). К структурным ядам и антипитательным факторам, оказывающим вредное влияние на пищеварительные и биосинтетические процессы, относятся ингибиторы протеолитических ферментов бобовых и ингибиторы амилаз злаковых. К ним же причисляются танины сорго, алкалоиды люпина, производные глюкозинолатов рапса, синапин, полифенолы, фитиновая кислота и т.д. Наибольшим количеством антипитательных веществ, отрицательно воздействующих на многие стороны метаболизма животных, обладают соя и продукты ее переработки. Помимо ингибиторов трипсина, к ним относятся гемагглютинины, липоксидаза, соин, гойтрогены, сапонины, генистин, уреаза и т.д.

Поэтому по современным представлениям, предварительная подготовка сырья перед включением в комбикорма должна быть направлена на повышение его питательных свойств. Это должно происходить за счет превращения сложных высокомолекулярных соединений в более простые, легко усвояемые для организма, инактивации токсинов и антипитательных факторов.

Существующие способы специальной обработки сырья группируются по трем главным видам: термические (поджаривание, микронизация и т.д.), гидротермические (пропаривание, плющение или флакирование) и термомеханические (гранулирование, экструдирование, экспандирование).

Согласно В.А. Афанасьеву [2002], основными критериями оценки каждого способа обработки является степень его воздействия на структуру и свойства углеводов (повышении уровня клейстеризации и декстринизации крахмала, разрушении структуры некрахмалистых полисахаридов, что способствует повышению их переваримости), а также на фракционный состав и переваримость белка. Кроме того, очень важен достижимый уровень инактивации токсинов и других антипитательных факторов, а также степень стерилизации получаемого продукта. В число важнейших характеристик входит и ростовая реакция рыб, затраты кормов на прирост их массы, величина издержек производства. При этом должны быть подобраны оптимальные режимы обработки, не допускающие или смягчающие отрицательное влияние отдельных параметров (температуры, влаги, давления) на свойства и переваримость белков, жиров и углеводов.

Остановимся на некоторых способах предварительной подготовки сырья.

5.1. Способы подготовки сырья

5.1.1. Термическая обработка конвективным методом

Осуществляется сухим горячим воздухом. Экспозицию и температуру обработки меняют в зависимости от вида сырья. Получаемый результат — повышение переваримости углеводов. К примеру, при обработке ячменя в течение 2 мин воздухом, нагретым до 300 °С, зерно вспучивается, и количество декстринов возрастает до 20%. При данных параметрах обработки переваримость углеводов, в частности крахмала, возрастает, а протеина не снижается. В то же время обработка при меньших температурах — 200 и 250°С, но при более длительной экспозиции — 20 и 40 мин соответственно приводит к значительному снижению доступности протеина. Таким образом, для сохранения качества белка при термообработке следует применять кратковременное, но интенсивное тепловое воздействие; медленный нагрев приводит к ухудшению качества.

5.1.2. Термическая обработка кондуктивным методом

Осуществляется путем поджаривания зернового сырья на нагретой металлической поверхности при температуре от 100 до 250 °С в зависимости от исходной влажности. При поджаривании зерна влажностью до 15% происходит незначительное увеличение содержания в нем декстринов. Однако оно существенно возрастает при повышении влажности до 20–25% и достигает максимума (16–18%) при увлажнении до 35–40% на греющей поверхности с температурой 250–300 °С.

При всех температурных режимах обработки и экспозиции отмечается снижение растворимости белков, что свидетельствует о денатурации, причем глубина процесса повышается с увеличением интенсивности обработки. Переваримость протеина уменьшается на 3–8%.

5.1.3. Тостирование

Обработка сырья, преимущественно шротов, горячим воздухом или сухим паром. Применяется для подавления активности и разрушения антипитательных факторов (ингибиторов ферментов, ядовитых алкалоидов, ряда глюкозинолатов и т.д.). Для каждого вида сырья разработаны определенные температурные и временные параметры. Однако эффективность способа недостаточна для полного разрушения токсинов. Ужесточение режима обработки приводит к снижению питательных свойств белка.

5.1.4. Флакирование

Это механическое сдавливание после предварительного пропаривания, приводящее к образованию хлопьев. Эффект гидротермической обработки достигается благодаря воздействию воды и тепла пара, а также влаги, содержащейся в зерне. Под действием механического тепла эта влага также переходит в пар, и под его давлением зерно вспучивается. Одновременно происходит разрыв оболочек крахмальных зерен и идет клейстеризация; 33–40%-ной клейстеризации крахмала пропаренного ячменя можно достичь путем его плющения в течение 1 мин при атмосферном давлении, 45–50%-ной – при плющении зерна, предварительно обработанного паром в течение 10 мин. Визуально степень разрушения крахмала определяется по толщине хлопьев. Сочетание этого вида тепловой обработки с последующей механической (гранулированием) дает хорошие результаты. В этих условиях протеин подвергается минимальному разрушению [Чернышов, Панин, 2000; Афанасьев, 2002].

5.1.5. Микронизация

Сущность способа – воздействие на сырье инфракрасного (ИК) излучения, получаемого от кварцевых галогенных ламп, в течение 35–60 с. Этот способ дает наилучшие результаты применительно к зерну злаков и соевым бобам. Лучи, проникая в зерно, вызывают интенсивную вибрацию молекул и при их трении выделяется тепло. Зерно разогревается до 150–190 °С, и связанная вода переходит в «псевдопарообразное» состояние, резко возрастает внутреннее давление. В течение нескольких секунд зерно становится мягким, разбухает и растрескивается. После вспучивания и пластификации его подвергают плющению. При этом изменяются физические и химические свойства зерна и его питательная ценность. В основном это связано с глубокой модификацией крахмала, его клейстеризацией и резким повышением содержания низкомолекулярных декстринов [Чернышов, Панин, 2000; Афанасьев, 2002]. Улучшаются условия обработки крахмала пищеварительными ферментами и возрастает его переваримость. Наблюдаемая денатурация белка также способствует повышению его переваримости.

При ИК-обработке сои в течение 80 с практически полностью инактивируются ингибиторы трипсина, липоксигеназа и уреаза. В то же время не разрушаются жирорастворимые витамины. Кроме того, большое значение имеет происходящая при этом стерилизация сырья и частичное разрушение токсинов. Так, воздействие ИК-лучей в течение 30 с приводит к снижению содержания афлатоксина в зерне с 1000 до 50–250 мкг/г, а при облучении свыше 90 с наблюдается его полная инактивация.

Технологии гранулирования, экструдирования и экспандирования будут подробно описаны при изложении способов изготовления комбикормов.

5.2. Технологический процесс и основное оборудование при производстве комбикормов

Принципиальная технологическая схема производства комбикормов для рыб включает следующие основные стадии:

– подача кормового сырья из силосного и напольного складов хранения;
– очистка сырья от посторонних примесей;
– дозирование и смешивание компонентов;
– измельчение кормовой смеси;
– изготовление комбикормов;
– охлаждение (сушка);
– ожиривание комбикормов;

– крошение и рассеивание крупок (для линии стартовых кормов);
– расфасовка и упаковка готовой продукции;
– размещение на складе и отгрузка комбикормов.

В краткой форме остановимся на отдельных основных операциях.

5.2.1. Способы очистки сырья

Процесс ведется на технологических линиях, состоящих из транспортных механизмов, сепараторов и магнитных колонок. Их комплект учитывает особенности структуры и физических свойств различных видов сырья (например, зерно с оболочками или без них, жмыхи или шроты, мука животного происхождения, дрожжи и т.д.).

Очистка сырья от посторонних примесей, таких как камни, стекло, обрывки веревок и тканей, куски дерева, бумага, осуществляется на подсевных ситах сепараторов. На некоторых предприятиях проводится очистка зерна от мучнистых примесей и лузги в процессе шелушения с использованием аспираторов и пневматических каналов. В отдельных случаях крупную минеральную примесь отделяют в специальных сухих флотационных агрегатах.

Воизбежание повреждений и повышенного износа основного технологического оборудования на комбикормовых заводах в обязательном порядке проводят очистку сырья, а также кормосмесей от металлических примесей. Для этого применяются разнообразные конструкции электромагнитных сепараторов или статических магнитных колонок. Все магниты монтируются с учетом возможности их быстрой и безопасной очистки от металлических примесей. В обязательном порядке магнитная защита устанавливается перед основной приемной норией, перед молотковыми дробилками и грануляторами или экструдерами. Иногда для более надежной защиты магниты размещают блоками в несколько рядов. Очень важно осуществлять систематическую очистку магнитов от металлопримесей (как правило, от 1 до 3 раз в смену).

5.2.2. Дозирование и смешивание компонентов

В рецептуру комбикормов для рыб входит до 10–15 компонентов, не считая микродобавок. Их количество сильно варьирует – от 50–60% (рыбная мука, зерновые) до долей процента. Как правило, через основные рабочие бункеры линии дозирования осуществляется подача тех видов сырья, количество которых в рецепте составляет более 1–5%. Компоненты, входящие в состав комбикормов в меньшем количестве (витамины, минеральные соли, антиоксидантные, лекарственные средства, каротиноидные добавки и т.д.), вводят преимущественно через линию премиксов. На ней предусматривается предварительное смешивание компонентов с наполнителем, а при его отсутствии используют готовые премиксы.

Дозирование сырья осуществляется с помощью весовых дозаторов порционного или непрерывного действия. Объемные применяются значительно реже. На современных заводах, как правило, используются многокомпонентные весы на тензодатчиках.

Перемешивание компонентов протекает в смесителях горизонтального или вертикального типа преимущественно периодичного действия. При вращении вала смесителя рассыпной комбикорм подвергается срезающим и перемешивающим усилиям, которые создаются изогнутыми лентами и (или) лопатками. Наружные ленты одновременно подают материал внутрь. Некоторые конструкции смесителей для лучшей гомогенизации продукта предусматривают противоточное движение материала. Современные смесители позволяют обеспечить равномерное распределение в кормосмеси компонентов, входящих в состав комбикорма в количестве до 0,001–0,005%.

5.2.3. Измельчение

К комбикормам для рыб в отличие от аналогичной продукции для сельскохозяйственных животных предъявляются повышенные требования по степени измельчения исходного сырья. Особенно тщательно должно быть размолото сырье при производстве комбикормов для молоди.

Для измельчения сырья и кормосмесей используются дробилки различной конструкции: молотковые, ротационные (штифтовые или дезинтеграторы), дисковые, ножевые. В отдельных случаях применяются дробилки, в которых обрабатываемый продукт подвергается многократному ударному воздействию рабочих органов, молотков и деки. В зависимости от назначения молотковые дробилки имеют различные конструкции и характеристики. Для грубого измельчения применяются дробилки с одним или двумя приводами, оснащенные ситами с отверстиями 6–8 мм или колосниковыми решетками. Молотки, которыми комплектуются дробилки, могут иметь вид прямоугольных ступенчатых, Г-, П- и Т-образных массивных пластин. Дробилки тонкого измельчения комплектуются ситами с отверстиями от 0,8 до 3 мм, выбор которых определяется необходимостью получения продукта с заданной степенью измельчения. Как правило, при работе дробилок с неповрежденными ситами дополнительная установка просеивателя для контроля тонины помола кормосмеси не требуется.

Некоторые комбикормовые заводы для сверхтонкого измельчения продукта применяют бесситовые дробилки, оснащенные молотками с износоустойчивой наплавкой. Отбор супертонкого продукта производится с помощью пневмоклассификаторов.

Измельчение сырья особенно необходимо для разрушения клеточных стенок растений из некрахмалистых полисахаридов, которые задерживают питательные вещества внутри клеток и затрудняют их контакт с пищеварительными соками. Оболочки животных клеток также являются барьером, препятствующим проникновению ферментов. При дроблении зерна, кроме того, происходит частичное разрушение крахмальных зерен, и они становятся более доступными амилолитическим ферментам. Использование плохо измельченного сырья в составе стартовых кормов может привести к травмированию или закупорке пищеварительного тракта рыб и их гибели.

Степень размола сырья или кормосмеси перед изготовлением гранул по терминологии, принятой в кормопроизводстве, определяется понятием «крупность» (или тонина помола). Она представляет собой остаток на сите с отверстиями определенного диаметра, выраженный в % от количества просеяного корма.

В середине 70-х годов XX века на начальных этапах разработки отечественных технологий изготовления гранулированных комбикормов для рыб, во ВНИИПРХе совместно с Украинским отделением ВНИИКП были проведены исследования по изучению влияния степени размола рассыпного комбикорма на качество и продуктивные свойства гранул сухого прессования для рыб [Воронина и др., 1976].

На примере промышленного комбикорма К-III-I для товарного выращивания прудовых карповых рыб было показано, что снижение средней величины частиц комбикорма, поступающего на прессование, до 0,6 мм (против принятых для рыб в системе бывшего Министерства заготовок СССР 1,2 мм) привело к повышению водостойкости гранул в 2,5 раза (табл. 79). Возросла и их доступность действию пищеварительных ферментов рыб. В условиях температур, типичных для первой зоны рыбоводства (16–17 и 20°С) , переваримость сухого корма у карпов в среднем возросла с 44 до 51%, белков – с 69 до 75%, энергии – с 51 до 56%.

Суммарный эффект за счет упрочения гранул и улучшения их переваримости выразился в сокращении затрат корма на 1 кг прироста карпов на 20%. Одновременно отмечено повышение коэффициента использования протеина корма на прирост белка в организме рыб на 31%. Общая продукция рыб возросла на 27%.

Дальнейшее измельчение частиц сырья до 0,03–0,05 мм в комбикорме для двухлетних карпов привело к отрицательному эффекту, несмотря на значительное увеличение водостойкости гранул. При столь тонком помоле сила сцепления

Таблица 79. Содержание питательных веществ в гранулах сухого прессования, их водостойкость и переваримость у двухлеток карпа в зависимости от степени размола сухого комбикорма К–111 перед прессованием (по М.А. Щербине и В.П. Ворониной, 1976)

Крупность* комбикорма	Средний размер частиц, мм	Водостойкость, мин	Температура воды, °С	Сухое вещество	Сырой протеин	Общие липиды	Сумма углеводов	Зольные элементы	Энергия
Содержание в корме, % сухого вещества, кДж/100 г									
				100	25,1	2,5	66,5	5,9	1,68
Переваримость питательных веществ, % съеденных (M±m)									
Вариант 1	1,2	30	16–17	42,2±0,5	68,5±0,6	51,8±0,3	37,8±0,8	13,5±3,1Э**	48,4
			20	46,6±1,0	69,6±1,7	57,0±1,1	43,9±1,1	31,5±5,5Э	52,8
Среднее				44,4	69,1	54,4	40,9	22,5Э	50,7
Вариант 2	0,6	77	16–17	49,0±1,3	72,2±0,8	61,0±1,1	44,7±1,7	5,2±2,0Э	54,4
			20	53,0±1,3	77,8±1,3	60,7±1,7	48,1±2,3	12,5±4,8Э	58,3
Среднее				51,0	75,0	60,9	46,4	8,9Э	56,4

*Крупность – степень размола сырья, выражаемая остатком на ситах с различным диаметром: вариант 1 – остаток на сите диаметром 2,5 мм, не более 10%; вариант 2 – остаток на сите диаметром 1,2 мм, не более 5%.

**Э – экскреция из организма в пищеварительный тракт эндогенных минералов.

Примечание. Компонентный состав комбикорма К-111 (%): подсолнечный шрот – 35, арахисовый шрот – 15, пшеница – 12, ячмень – 12, горох – 10, пшеничные отруби – 6, кормовые дрожжи – 4, рыбная мука – 3, крабовая мука – 2, мел – 1.

частиц корма в процессе гранулирования резко возросла, и гранулы приобрели сверхвысокую прочность. Водостойкость их повысилась до 6–8 ч. Они слабо набухали, плохо дробились глоточными зубами, и их куски, не разрыхляясь, долго сохранялись в кишечниках, что затрудняло контакт питательных веществ корма с пищеварительными соками. В связи с этим гранулы оказались неудобоваримыми, и продуктивное действие корма резко снизилось.

Результаты этих исследований послужили основанием для включения в разработанный новый ГОСТ Р на комбикорма для товарных рыб показателя «крупность», который выражается в виде остатка на сите диаметром 1,2 мм – не более 5% размолотого сырья, что соответствует среднему размеру частиц 0,6 мм.

Следует отметить, что «крупность» – показатель, меняющийся в зависимости от диаметра сита и величины остатка. Тот же средний размер частиц 0,6 мм дает просев через сито диаметром 1,0 мм с остатком не более 10%.

5.3. Способы изготовления комбикормов

До конца 50-х годов XX века в нашей стране использовались только рассыпные комбикорма, которые для карпов замешивали в виде теста различной консистенции и вносили в воду, для форели готовили в виде пасты. С конца 50-х годов предпринимались попытки изготовления комбикормов для рыб в виде гранул влажного прессования. Для этого использовались макаронные прессы, применяемые в пищевой промышленности или аналогичное оборудование. Мягкие или влажные гранулы, содержащие значительный процент жидких компонентов, требующие специальной технологии подсушивания или охлаждения, применялись до 70-х годов. Особенно большое распространение они получили в США.

Первые исследования по применению гранулированных комбикормов для рыб в СССР были проведены во ВНИИПРХе [Виноградов, Ерохина, 1960]. Было показано, что использование гранул влажного прессования в сравнении с рассыпным комбикормом при выращивании двухлетних карпов в прудах привело к повышению скорости роста рыб на 15%, рыбопродуктивности – на 14%, при снижении затрат корма на 27% (2,2 против 3,0 ед.). Позже А. Канидьевым и

Е. Гамыгиным [1975а] был разработан и испытан рецепт первого гранулированного комбикорма для ранних стадий постэмбрионального развития форели, эффективность которого оказалась на 40–50% выше, чем пастообразного, изготовленного на основе говяжьей селезенки. Близкие результаты показала оценка сравнительной эффективности продукционных гранулированных и пастообразных кормов при выращивании товарной форели [Канидьев, Гамыгин, 1979].

В настоящее время в практике мировой аквакультуры практически повсеместно применяются комбикорма, представленные в виде сухих гранул. Они вырабатываются по разным технологиям, среди которых наибольшего распространения получили сухое прессование, экструдирование и экспандирование с последующим гранулированием.

5.3.1. Технология сухого прессования (гранулирование)

Сущность процесса гранулирования (pelleting) заключается в обработке рассыпной кормосмеси сухим паром и продавливании ее через матрицу пресса-гранулятора при повышенных температуре и давлении с последующим охлаждением образовавшихся гранул до комнатной температуры в охладительной колонке. Гранулы представляют собой агломерат корма и имеют форму цилиндров. В зависимости от вида и возраста рыб их диаметр изменяется обычно от 2 до 8 мм и более. Длина, как правило, в 1,5–2,0 раза превышает диаметр. Схема устройства приведена на рис. 7.

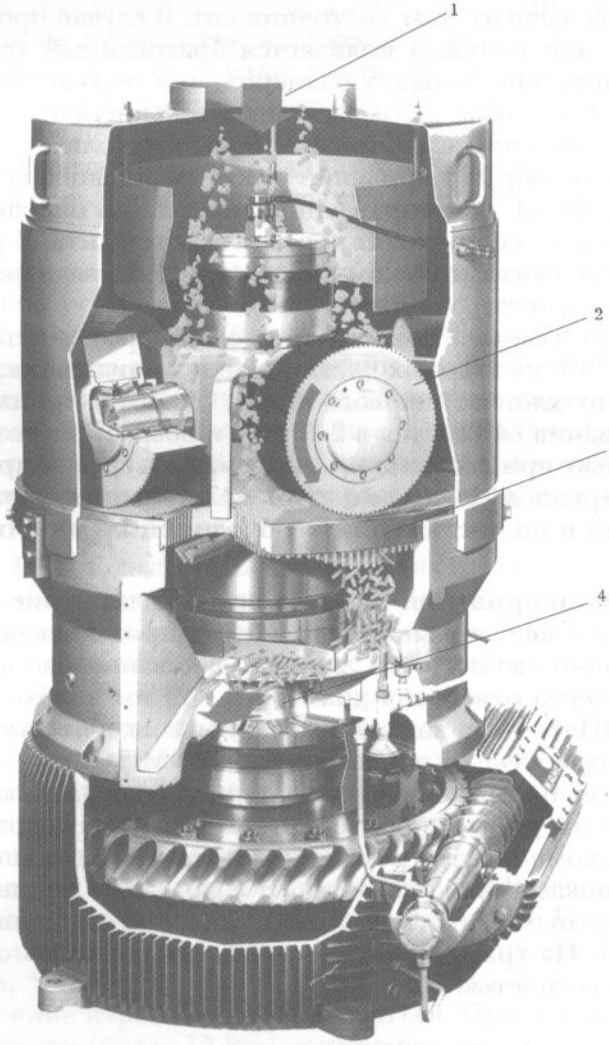


Рис. 7. Схема пресс-гранулятора:
1 – загрузка кормосмеси; *2* – ролик; *3* – матрица; *4* – выбой готового продукта

Основными технологическими параметрами, имеющими первостепенное значение при сухом прессовании рассыпного комбикорма, являются [Гамыгин и др., 1989]:

крупность помола;
влажность комбикорма при прессовании;
влажность гранул после матрицы;
качество пара;
состояние матрицы и роликов;
условия охлаждения гранул.

Крупность помола. С целью достижения необходимой крупности помола на многих комбикормовых заводах применяют двух- и трехступенчатое измельчение, т.е. измельчение осуществляется в 2–3-х последовательно установленных дробилках. За последней дробилкой иногда предусматривается ситовой контроль качества измельчения, который позволяет направлять недостаточно измельченный комбикорм на повторный помол.

Гранулометрический состав рассыпного комбикорма определяется средним значением крупности помола. Экспериментально обосновано, что на молотковых дробилках со сменными ситами при производстве продукционных комбикормов (с диаметром гранул 3,2 и 4,5 мм) необходимо устанавливать сита с отверстиями диаметром не более 2,0 мм, при производстве стартовых комбикормов – с диаметром 0,8–1,5 мм. В этом случае обеспечивается крупность помола для продукционных комбикормов до 0,45 мм, а для стартовых – 0,1–0,2 мм.

Качество помола зависит и от состояния сит. В случае пробоя сит металлическими примесями или камнями появляется бракованный комбикорм, содержащий частицы значительно больших размеров, чем нормативные.

Состав комбикорма также оказывает значительное влияние на операцию измельчения. При включении в комбикорм больших количеств тонкодисперсных компонентов (сухого обрата, кровяной муки, порошкообразных дрожжей), не требующих измельчения, но направленных на данную операцию, они при попадании в дробилку сразу же проходят через отверстия сита. В результате наблюдается нежелательная сепарация компонентов, требующая их дополнительного смешивания перед гранулированием.

Особенно трудно измельчать хлопчатниковый шрот, состоящий примерно на 70% из ваты и на 30% из твердых частиц семян хлопчатника. При значительном включении в рецепт хлопчатникового шрота (до 40%) производительность дробильного оборудования снижается в 2–3 раза и возрастает возможность пожаров и взрывов, поскольку при его измельчении сита отверстий дробилки забиваются волокнистым материалом. В связи с этим желательно измельчать хлопчатниковый шрот отдельно и по достижении необходимой крупности помола вводить в комбикорм.

Влажность комбикорма при прессовании. Увлажнение смеси комбикорма при гранулировании значительно облегчает его продавливание через отверстия матрицы. Достаточно сказать, что для продавливания рассыпного комбикорма влажностью 11% через отверстия диаметром 4,5 мм необходимо создать давление, равное 370 МПа*, тогда как этот комбикорм влажностью 16,3% можно продавить через это отверстие при давлении до 120 МПа.

Вода способствует понижению температуры и уменьшению трения, повышает срок эксплуатации матрицы и производительность пресса-гранулятора.

Влажность всех компонентов регламентируется нормативно-технической документацией. Этот показатель колеблется от 8 до 15%. При движении кормового сырья по транспортным средствам, а также при измельчении происходит потеря 1,0–1,5 % воды. На гранулирование смесь компонентов обычно поступает с первоначальной влажностью 10–11%.

---

*Единица измерения давления по системе СИ – Паскаль (Па): 1 Па = $1{,}02 \cdot 10^{-5}$ атм = 10^{-5} бар = $= 7{,}5 \cdot 10^{-5}$ мм Hg; 1 МПа = 10^6 Па = 10,2 атм; 1 атм = $1{,}01 \cdot 10^5$ Па = 1,013 бар = 760 мм Hg; 1 бар = $= 0{,}98$ атм = 750 мм Hg = 10^5 Па

При помощи воды и пара достигается определенная водостойкость гранул. Основное увлажнение комбикорма происходит в смесителе пресса-гранулятора, куда через форсунку под давлением подается сухой пар. Дополнительное увлажнение зависит от состава комбикорма и может колебаться от 2 до 6%. При наличии в комбикорме зерновых культур (пшеницы, кукурузы, ячменя) требуется максимальное увлажнение, минимальное – необходимо в случае, если комбикорм имеет повышенную жирность. Обычно общая влажность комбикорма после смесителя пресса-гранулятора не должна превышать 17,2%. Для того чтобы обеспечить необходимые условия для выделения клейковины из измельченных частиц комбикорма желательно увлажнять его постепенно, начиная с нижнего предела его влажности (10%). При мгновенном увлажнении комбикорма этого эффекта ожидать не следует. Поэтому для получения водостойких гранул в смеситель пресса-гранулятора пар подают постоянно под давлением до 0,7 МПа при температуре до 140–180 °С из расчета до 65 кг на 1 т комбикорма.

Количество подаваемого пара зависит и от вида сырья. Так при гранулировании комбикорма с содержанием рыбной муки 20% и более общая влажность не должна превышать 13–14%. Даже при высокой температуре пара рыбная мука не способна поглощать всю воду. При продавливании излишне увлажненного комбикорма через отверстия матрицы часть избыточной влаги будет выжиматься, а оставшаяся часть будет способствовать ослаблению прочности гранул.

Существуют экспресс-методы определения влажности рассыпного комбикорма, однако их не всегда можно применять при регулировке технологических параметров операций кондиционирования и гранулирования. С целью более оперативного контроля за влажностью комбикорма можно рекомендовать весьма простой и доступный метод. Отбирают контрольную пробу комбикорма, ссыпают ее на ладонь и слегка сжимают в кулаке. По образовавшемуся комку слегка ударяют указательным пальцем. Если продукт хорошо увлажнен и перемешан, то комок распадается на большие куски. Если комок разваливается на мелкие части, которые, в свою очередь, также рассыпаются, то комбикорм увлажнен недостаточно.

Влажность гранул после прессования. При продавливании увлажненного комбикорма через отверстия матрицы его влажность уменьшается в зависимости от диаметра от 0,7 (диаметр гранул 6 и 8 мм) до 1,2% (диаметр гранул 3,2–4,5 мм). Водостойкость и прочность готовой продукции можно прогнозировать и на этом участке. Если мягкая влажная гранула после легкого нажатия на нее пальцем старается принять первоначальную форму, то после охлаждения ее в охладительной колонке она будет соответствовать требованиям по водостойкости и крошимости. Если гранула после нажатия ее пальцем рассыпается, то эта партия комбикормов будет некондиционной.

Качество пара. Пар должен подаваться в смеситель сухим без капель воды. В противном случае возможно локальное увлажнение комбикорма, и он будет поступать на гранулирование в виде слипшихся комков. Такой продукт забивает отверстия матрицы, в результате чего процесс гранулирования прерывается.

Влажность пара зависит от условий его производства, температуры окружающего воздуха, протяженности его прохода по трубопроводам и величины потерь тепла при подаче пара на пресс-гранулятор. В случае необходимости частичного обезвоживания пара, часть воды можно удалить через специальное устройство (дроссель) в регулируемом клапане бойлера. В процессе обработки рассыпного комбикорма пар полностью конденсируется.

При обработке кормосмеси паром применяют следующую эмпирическую зависимость: повышение температуры комбикорма на 10–11°С в результате кондиционирования в смесителе паром равносильно увеличению его влажности на 0,7–1,0% [Черняев, 1985]. В случае высокой начальной влажности рассыпного комбикорма добавление пара должно уменьшаться. При чрезмерном увлажнении рассыпного комбикорма (более 17,2%) кормосмесь трудно гранулируется. Причина – наличие в увлажненном комбикорме дополнительной поверхностной влаги, которая при прессовании выжимается из комбикорма и увеличивает адгезивные

(связующие) свойства прессуемого материала, а также приводит к росту коэффициента динамического трения увлажненного комбикорма, что ухудшает условия его прохождения через отверстия матрицы.

Большая массовая доля влаги приводит к тому, что при выходе из матрицы гранулы набухают, на их поверхности образуются трещины, и она становится шероховатой. Такие гранулы обладают повышенной крошимостью и пониженной водостойкостью.

Для обеспечения оптимального ведения технологического процесса гранулирования и экономного расходования пара необходимо поддерживать его постоянное поступление. Этим достигаются не только оптимальное кондиционирование и гранулирование, но и снижение расхода электроэнергии, увеличение срока службы прессующих роликов и дорогостоящей матрицы, и главное, – улучшается качество готовой продукции.

В технологических линиях по производству комбикормов, имеющих небольшую производительность и смонтированных в рыбоводных хозяйствах, для увлажнения комбикорма кондиционирование рассыпной смеси сухим паром осуществляется в течение 7–9 с. При кондиционировании водой с температурой 35–45 °С это время увеличивается до 10–14 с.

Состояние матрицы и роликов. Увлажненный комбикорм при гранулировании проходит в матрице две стадии сжатия: предварительное – в конической части отверстия (рабочей камере) и основное – в его цилиндрической части.

Соотношение объемов рабочей и цилиндрической частей отверстия определяет степень сжатия увлажненного комбикорма. Следовательно, чем больше диаметр отверстия матрицы, тем меньше величина удельного прессования. Это означает, что между частицами комбикорма слабо действие адгезивной силы, и гранулы после выхода из матрицы увеличиваются в объеме и распадаются. На их поверхности могут появляться продольные трещины, что свидетельствует о плохом качестве гранул. По степени шероховатости поверхности гранул судят о качестве поверхности отверстий матрицы, которая должна быть полированной и без задиров (результат продавливания комбикорма с металлопримесями). Состояние отверстий отражается на производительности пресса–гранулятора. Для предотвращения повреждений поверхности отверстий необходимо по окончании работы, особенно после изготовления комбикормов для прудового карпа, запрессовывать отверстия пшеничными отрубями, пропитанными в растительном масле. Если в отверстиях остается комбикорм, он разбухает, и оставшаяся влага вызывает коррозию металла.

При смене матрицы меняют и прессующие ролики. На прессе-грануляторе всегда устанавливают пригнанные друг к другу матрицы и прессующие ролики. В противном случае наблюдается преждевременный износ внутренней поверхности матрицы, в результате чего уменьшается объем рабочей камеры прессования, а следовательно, плотность готовой продукции. К рабочей паре "ролик – матрица" предъявляется ряд требований, от которых зависят все производственные показатели и качество гранул.

Категорически запрещается эксплуатация прессующих роликов с неравномерным прилеганием поверхностей их соприкосновения. Нарушение этого правила приводит к преждевременному износу рабочей поверхности матрицы.

Величина зазора между прессующими роликами и внутренней поверхностью матрицы влияет на все показатели: производительность, износ оборудования, энергоемкость и качество готовой продукции. В зависимости от состава рецепта комбикорма этот прессующий зазор должен составлять 0,2–0,5 мм. Меньший зазор не допускается, т.к. в этом случае возможна работа роликов и матрицы по принципу "металл о металл", что вызывает чрезмерный износ рабочих органов и ухудшает условия прессования. Увеличение зазора от 0,8 до 1,4 мм приводит к уменьшению среднего давления в зоне прессования от 11 до 7 МПа для матрицы с диаметром отверстия 4 мм, а для матрицы с диаметром отверстия 8 мм – от 7,3 до 5 МПа. Более толстый слой предварительно сжатого материала способствует образованию смазки между металлом ролика и матрицы, уменьшающей их износ.

Однако это касается в основном комбикормов с незначительным содержанием рыбной муки и достаточным количеством зерновых, способных клейстеризоваться при температуре 75–88 °С. При гранулировании комбикормов с высоким содержанием рыбной муки и термочувствительных компонентов желательно выдерживать минимальный зазор (0,2–0,3 мм). В этом случае коэффициент гранулирования увеличивается за счет лучшего продавливания комбикорма. Сама рыбная мука является хорошей смазкой, уменьшающей износ роликов и матрицы.

При зазоре более 0,3 мм возникает опасность ускользания такого комбикорма от проталкивания. Комбикорм в этом случае пересыпается через ограничительный бурт и направляется на повторное гранулирование.

Комбикорма с низким содержанием протеина и высоким содержанием углеводов и клетчатки допускается гранулировать с прессующим зазором до 0,5 мм. Установлено, что при таких составе комбикорма и зазоре в толстом слое комбикорма поглощаются тангенциальные силы, появляющиеся вследствие движения роликов по матрице. Для обеспечения безаварийной работы пресса–гранулятора, работающего с матрицей и прессующими роликами, рабочие поверхности которых не подогнаны друг к другу, допускается более толстый слой комбикорма. Это предотвращает преждевременный износ и поломку матрицы. Недостаточная подгонка роликов вызывает их проскальзывание при вращении, что приводит к налипанию комбикорма на ролики и заклиниванию матрицы. При соблюдении условий хранения и эксплуатации одна матрица с диаметром отверстий 4,5 мм может обеспечить выработку около 10 тыс. т комбикормов, матрица с диаметром 3,2 мм – около 1,2 тыс. т.

Процент крошки, направляемой на повторное гранулирование, энергоемкость процесса гранулирования и качество гранул зависят от состояния ножей, предназначенных для срезания гранул. Режущие кромки обоих ножей должны устанавливаться таким образом, чтобы обеспечить срезание гранул длиной, равной 1,5–2,0 диаметра отверстий матрицы. Кромка ножа должна быть острой. В противном случае нож не срезает, а ломает гранулу. При этом образуется много крошки, влажная гранула получается искривленной, с трещинами на поверхности. Особое внимание следует обращать на состояние поверхности гранул, которая должна быть полированной, без заусенцев на торцах излома. При дальнейшей транспортировке неровные гранулы разрушаются, и образуется много крошки и пыли.

Как правило, при изготовлении комбикормов для рыб используется набор матриц с отверстиями диаметром от 2 до 12 мм, правда, в последние годы находят применение матрицы с отверстиями от 0,8 до 1,8 мм.

Условия охлаждения гранул. После гранулирования для достижения равновесной влажности, что важно для длительного хранения, гранулы охлаждают в охладительных колонках. От технологии охлаждения зависит качество готовой продукции.

При охлаждении гранул обычно используют всасывающую систему аспирации. Для этой цели желательно использовать воздух из отапливаемого помещения, особенно зимой. Разность между температурой воздуха, подаваемого в охладительную колонку, и температурой воздуха на рабочем месте не должна превышать 8–10 °С. Для охлаждения гранул определяющим фактором является скорость удаления влаги. При хранении гранул, внутри которых остались тепло и влага, они быстро увлажняются, плесневеют и нуждаются в неоднократном перемешивании. Если их не перемешивать, то может произойти самовозгорание.

Качество готовой продукции повышается, если отрегулировать пропуск через охладительную колонку одинаковых объемов влажных гранул и проводить выбой продукции влажностью не более 13,5 % с температурой не более чем на 10 °С выше температуры окружающей среды.

Подаваемый в охладительную колонку из всасывающей системы аспирации воздух, продувая гранулы, подогревается, увлажняется, пылится и поэтому после прохождения колонки направляется на очистку в циклоны, а затем выбрасывается в атмосферу.

При нагнетающей системе аспирации, когда воздух в охладительную колонку подается вентиляторами, в производственном помещении часто наблюдается повышенное содержание пыли, тепла и влаги. Это является следствием неплотного соединения деталей в охладительной колонке и должно устраняться.

Скорость воздушного потока должна составлять 0,4–0,5 м/с при напоре 1500 Па.

На отечественных комбикормовых заводах технология сухого прессования как наиболее простая и наименее энергоемкая до сих пор является доминирующей. Однако во многих странах с развитым кормопроизводством все большее распространение получают технологии глубокой переработки кормового сырья, такие как экструдирование и экспандирование.

5.3.2. Технология экструдирования

Экструзия (extruding) – влажное прессование с взрывом. Технологический процесс заключается в гидробаротермической обработке сырья, когда кормовая масса прессуется и под высоким давлением выталкивается через фильеры в область атмосферного давления, после чего взрывается, увеличиваясь в объеме. К преимуществам экструзии относится возможность обработки любого сырья индивидуально или в различных композициях. По сравнению с другими способами влаготепловой обработки экструзия дает более ощутимое повышение питательности исходного сырья. Одним из главных ее эффектов является резкое возрастание переваримости углеводов – наименее доступной для животных части кормового сырья. Он достигается в основном за счет глубокой клейстеризации (желатинизации) крахмала, деструкции и модификации лигно-целюлозного комплекса.

Особенно эффективна эта технология для комбикормов, в которые входят зерновые, соя, жмыхи и шроты. Она может с успехом применяться при переработке сложных, обычно не используемых отходов птицеводства, а также мясо- и рыбоперерабатывающей промышленности, для превращения их в питательное сырье. Ограничивается только уровень ввода жира – не более 4,5%. При его превышении существенно затрудняется вспучивание экструдата.

По Н. Черняеву [1985], экструзия относится к таким методам термодинамической обработки сырья, при которых используются как статические режимы воздействия, так и динамический эффект давления, температуры, осмоса и т.д. Как и другие способы влаготепловой обработки, экструзия направлена на улучшение питательных свойств исходного сырья и получение относительно высоких технологических показателей. В ее основе лежат два процесса: механохимическая деструкция, протекающая на всех этапах производства (характерная и для других технологий влаготепловой обработки), а также "декомпрессионный шок" или "взрыв", происходящий на выходе продукта из экструдера и довершающий его структурные преобразования.

Отличительная особенность конструкции экструдера от гранулятора – это наличие "ствола", в котором вращается наборный шнек (один или два), перемещающий кормовую смесь Конфигурация его "ребер" может быть различной.

Обычно процесс экструзии разделяют на следующие технологические зоны: загрузка, сжатие, гомогенизация и "собственно" экструзия (рис. 8).

В зоне загрузки сырья изменений в продукте практически не наблюдается. Высокоэластичное состояние продукт приобретает в зоне сжатия. Здесь происходит значительное разрушение клеточной архитектоники продукта – структуры и текстуры его природных компонентов. В зоне гомогенизации продукт приобретает вязко-текучее состояние, при котором структурные преобразования биополимеров (белков, крахмала, клетчатки) достигают высокого уровня. Наиболее важные и основные изменения происходят в зоне собственно экструзии при быстром передвижении сырья из зоны высокого давления ($16 \cdot 10^5$ Па или 15,8 атм и более) в область атмосферного. При этом аккумулированная в продукте энергия высвобождается со скоростью, приблизительно равной скорости взрыва, и довершает структурные преобразования (разрыв клеточных стенок, деструкцию и гидролиз биополимеров). Здесь же происходит вспучивание продукта, резкое увеличение его объема и формирование пористой структуры.

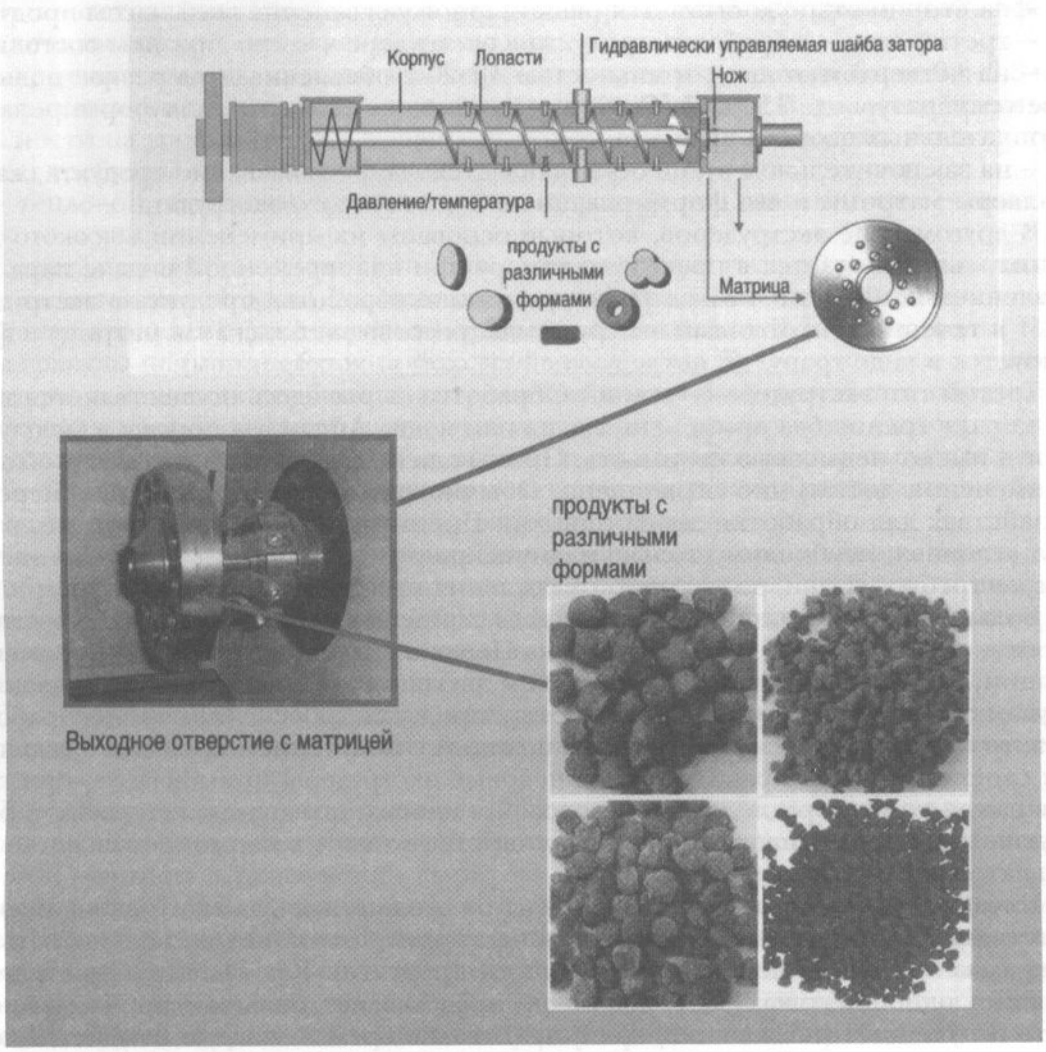


Рис. 8. Схема экструдера

В совокупности всех воздействий такая гидробаротермическая обработка сырья способствует множественному разрыву клеточных оболочек, изменению структуры крахмала и некрахмалистых полисахаридов, частично денатурации белка и изменению его фракционного состава, гибели микрофлоры, инактивации токсинов и, возможно, ряда других веществ. При этом меняются механические и физико-химические свойства сырья, увеличивается прочность сцепления частиц, происходит вспучивание продукта, в результате которого снижается удельная масса (плотность) продукта, и корма могут приобретать плавучесть.

В зависимости от технологических условий плотность экструдатов может варьировать в очень широких пределах – от 5 до 560 кг/м^3. Поэтому с помощью экструдеров можно вырабатывать корма как плавающие, так и тонущие с различной скоростью. Как видно на рис.8 экструдат может иметь вид шариков, цилиндров с закругленными краями, трубочек типа макарон, колбасок, пластин, колечек и т.д. Форма экструдата определяется формой отверстий матрицы, конструкцией ножа и характером его работы. Согласно В. Афанасьеву [2002], существует несколько типов экструдеров, различающихся по параметрам обработки продукта.

В экструдерах, основанных на принципе кратковременного высокотемпературного воздействия, процесс протекает следующим образом:

– на первом этапе проводится кондиционирование – обработка продукта паром при атмосферном давлении и относительно невысокой (66–99 °С) температуре;

– на втором этапе достигается равномерное увлажнение всей массы продукта;
– третий этап – обработка продукта в экструдере в тестообразном состоянии;
– на четвертом этапе длительностью 10–20 с обеспечивается резкое повышение температуры до 110–205 °С; этот этап является основным для формирования окончательных свойств продукта;
– на заключительном этапе осуществляется выпрессовывание продукта сквозь фильеры матрицы и его формирование в виде готового экструдата.

В другом типе экструдеров, которые основаны на применении высокого давления, сырье подается в прессовую камеру при одновременной подаче пара под давлением от 0,2 до 0,8 МПа. На втором этапе обработка продукта в экструдере идет в течение 10 с. Готовый экструдат выпрессовывается сквозь матрицу и формируется в виде гранул (с последующей сушкой и охлаждением).

Третий тип экструдера – "сухой". Обработка сырья здесь осуществляется только за счет трения без применения пара или воды. Аппараты просты в эксплуатации и имеют невысокую стоимость. Производительность их невелика, а область применения достаточно ограничена. Обычно они используются в фермерских хозяйствах для обработки зерна или сои. Преимущество – могут работать в любых условиях, необходимо только наличие энергии для привода. Готовый экструдат не требует сушки, достаточно охлаждения при обычной температуре.

Большое разнообразие современных экструдеров можно свести к двум категориям – одношнековые и двухшнековые. Первые более просты и удобны в эксплуатации, менее энергоемкие. Вместе с тем двухшнековые конструкции позволяют осуществить более глубокую обработку продукта, обеспечивают переработку практически любого сырья и его композиций с получением продукта с заданными свойствами. Как правило, одношнековые экструдеры применяются при производстве комбикормов для сельскохозяйственных, домашних животных и рыб, двухшнековые – в пищевой промышленности, а также в кормопроизводстве для объектов аквакультуры.

Плотность получаемых гранул зависит от степени взрыва экструдатов и, соответственно, от рецепта комбикорма (в частности, соотношения крахмалистых и некрахмалистых компонентов и жирности продукта). Как правило, при использовании одношнековых экструдеров не представляет большой проблемы получить вспученные (плавающие) гранулы. В то же время зачастую не удается получить комбикорма со 100%-ной погружаемостью. В практике имеют место случаи, когда потребитель заказывает тонущие экструдированные корма, а при употреблении оказывается, что часть гранул тонет, а часть плавает. В отдельных хозяйствах это не имеет большого значения, однако в таких как тепловодные осетровые хозяйства бассейнового или садкового типа, с током воды плавающие гранулы выносятся из рыбоводных емкостей и теряются. Использование плавающих гранул в условиях прудовых карповых и садковых форелевых хозяйств также иногда не дает эффекта из-за выедания птицами.

Регулирование плотности экструдатов осуществляется путем подбора соответствующего технологического режима производства комбикорма на экструдере. В частности, регулируют количество и параметры подаваемого пара, ввод воды, температуру процесса в различных зонах ствола экструдера, в том числе за счет охлаждения рубашки, скорости прохождения материала, подачи жира.

Поскольку процесс экструдирования проводится при повышенной влажности кормосмеси экструдаты необходимо высушить, а затем охладить. Имеются как отдельные конструкции сушилок и охладителей, так и их комбинированные системы. Наиболее распространены горизонтальные агрегаты, в которых сушка экструдатов осуществляется на медленно движущихся сетчатых лентах при продувании горячим воздухом. В таких конструкциях экструдаты не деформируются, сохраняя свою форму. В зависимости от производительности и вида комбикормов сушилки могут быть одно- и двухэтажными. Температура экструдатов, вышедших из сушилки, составляет 50–60 °С, поэтому требуется их охлаждение до комнатной температуры. Влажность экструдированных комбикормов, как правило, должна составлять 7–8% (допускается до 12%).

При изготовлении комбикормов для рыб нормальный экструзионный эффект обеспечивается при выполнении следующих условий:

– предварительного измельчения сырья до частиц размером не более 0,6–0,8 мм;

– равномерного увлажнения кормосмеси паром и водой до достижения ею влажности на уровне 16–26% в зависимости от состава комбикорма, типа экструдера и требуемого качества конечного продукта;

– тепловой обработки при высокой температуре под давлением в течение короткого периода.

Важнейшим эффектом экструзии, повышающим питательность кормового сырья, является клейстеризация (желатинизация) крахмала. Она начинается с поглощения гранулами (или зернами) крахмала небольшого количества воды. При этом гранулы немного набухают, сохраняя свою форму. Далее, с повышением температуры и давления сорбция воды резко усиливается. В результате образуется гомогенная масса с высокой вязкостью и клеящими свойствами. Одновременно происходит разрушение молекул крахмала, и образуются разноразмерные декстрины. При глубокой клейстеризации декстрины мельчают, распадаясь на большое количество сахаров различной молекулярной массы.

У оклейстеризованного крахмала резко повышается сорбционная емкость. Он приобретает способность поглощать не только много воды, но и много пищеварительных соков. Процесс ферментативного гидролиза крахмала в пищеварительном тракте значительно облегчается, что существенно повышает его доступность для организма животных.

Следует отметить, что высокая степень клейстеризации крахмала при обработке зерновых является обязательным условием для вспучивания экструдата [Афанасьев, 2002].

Деструкция лигно-целлюлозного комплекса и других некрахмалистых полисахаридов клеточных стенок растений происходит в зоне сжатия и в зоне экструзии при быстром передвижении сырья из области высокого давления в область атмосферного. Здесь, в зоне взрыва, осуществляются дальнейший разрыв клеточных стенок и гидролиз биополимеров, а также вспучивание продукта. В результате этих преобразований частично разрушенные некрахмалистые полисахариды становятся более доступными для пищеварения у сельскохозяйственных животных. Подобный эффект наблюдается и у рыб. В середине 70-х годов П. Люке и Ф. Берго [Luquet, Bergot, 1976] показали, что экструдирование и экспандирование крахмала оказывают более сильное воздействие на его переваримость у радужной форели, чем гранулирование и флакирование. По другим данным [Chiou, Ogino, 1975], у карпа переваримость экструдированного крахмала возрастает до 85%, у форели – 1,5–2 раза.

Параллельно с изменением свойств углеводов наблюдается изменение белкового комплекса, в частности улучшение переваримости белка в результате его денатурации [March, Hiokling, 1982]. По другим данным [Deacon et al., 1988], этот эффект на фоне рапсового и подсолнечного шрота не наблюдался. Описано и отрицательное воздействие экструзии на растворимость белка и доступность незаменимых аминокислот в зависимости от времени воздействия температуры и давления на сырье. Оно проявляется в нарушении структуры протеина корма, когда свободные ε-аминогруппы лизина вступают в химическую реакцию с восстанавливающими веществами (в основном с сахарами) и при этом понижается их доступность, или свободные карбоксильные группы белка взаимодействуют с амино- и оксигруппами, содержащимися в остатках других аминокислот, в результате чего образуются перекрестные связи, которые недоступны действию пищеварительных ферментов.

По данным Дамбера и Латвениекс [1972] и Плакаса с соавторами [Plakas et al., 1985], при воздействии на продукты высокой температуры, влажности и изменений pH содержание аминокислот (особенно лизина – одной из основных лимитирующих аминокислот в растительных белках) существенно уменьшается в результате взаимодействия свободных ε-аминогрупп с карбонильными группами восстанавливающих сахаров.

Данные о влиянии экструзии на качество жиров противоречивы. А. Кочеткова с соавторами [1987] указывает, что гидролитические процессы, протекающие в фосфолипидах в присутствии влаги, создают условия для образования мезофосфатидных форм свободных жирных кислот, что отрицательно сказывается на качестве продуктов. По ряду данных, при температуре 140–155 °С кратковременная экструзия сои не ухудшает качество масел, при 180–400 °С наступает их окисление. Переваримость жира после экструзии соевых бобов составляет 90% по сравнению с 73% при поджаривании. В наших исследованиях было отмечено отрицательное влияние экструзии на питательность липидов для рыб, выразившееся в окислении и разрушении высоконенасыщенных жирных кислот [Щербина и др., 1996а]. Некоторые исследователи [Debort-Laval, Mercier, 1976] также указывают на уменьшение содержания жировых веществ зерна и риса после экструдирования, что согласуется и с данными лаборатории отдела кормов ВНИИПРХа. Согласно им, при экструдировании комбикорма К-4М отмечено снижение содержания липидов с 3,7 до 0,9% [Гамыгин, 1985].

Существенный недостаток экструзии – разрушающее действие на витамины, резко снижающее питательные свойства комбикормов. Вопрос о деструкции витаминов в процессе гидробаротермической обработки в экструдерах крайне важен. Установлено, что в наибольшей степени экструзионной атаке подвергается витамин С, который разрушается на 40–60% (при сухом прессовании на 15–20%). Из других витаминов, которые нестойки к экструзии, выделяют витамины А, B_1, B_2, B_6, K_3, хотя считается, что добавка в корм антиокислителей и инкапсулирование препятствуют разрушению в экструдерах группы жирорастворимых витаминов. Для страховки в состав экструдированных комбикормов некоторые производители вводят удвоенную дозу поливитаминного премикса, однако это экономически неоправданно.

Воизбежание сильного разрушения витамина С при экструдировании в США была разработана и в настоящее время рядом фирм освоена в производстве его термоустойчивая форма, соединенная с фосфором, – L-аскорбил-2-полифосфат (аскорбилполифосфат или АсРР). Водный раствор АсРР при нейтральном значении pH и температуре 28–45 °С не теряет активности в течение 20 сут. В кислой среде при pH=3 и температуре 28 °С активность АсРР за этот же период снижается на 25%, при температуре 35 °С – на 35%, 45 °С – на 65%. В составе комбикормов для форели обычная форма витамина С в виде аскорбиновой кислоты при температуре 25 °С практически полностью разрушается через 50–60 сут. хранения, а при температуре 45 °С – через 25–30 сут. В то же время АсРР при температуре 40 °С за такой же период разрушается лишь на 30%. Аналогичные данные были получены при сравнении активности аскорбиновой кислоты и АсРР в составе комбикормов для креветок. При экструзионной обработке кормосмеси АсРР разрушается всего лишь на 10–20%. Специальными опытами было показано, что физиологический эффект и ростовое действие равных доз обычной и защищенной форм аскорбиновой кислоты одинаково [Wilson et al., 1989; Theshima et al., 1993].

Близкой к АсРР термоустойчивостью при технологической обработке комбикормов обладает аскорбилполисульфат. Однако АсРР имеет более высокую биологическую ценность, поскольку содержит активный фосфор и значительно лучше усваивается [Halver et al., 1993].

В табл. 15 дана количественная характеристика разрушающего действия экструзии на 13 витаминов и его зависимость от сроков хранения экструдатов.

Описанная неоднозначность воздействия экструзии на основные группы нутриентов и питательные свойства кормов в целом побудила нас провести детальное изучение влияния экструзии на питательность 13 основных видов сырья, применяемого при изготовлении комбикормов для рыб [Щербина, Гамыгин, Салькова, 1996а].

Эксперименты на карпах с тремя видами зерна (пшеница, ячмень, кукуруза), пшеничными отрубями и горохом позволили установить ряд общих эффектов экструзии. Наиболее существенные изменения произошли с углеводистой частью

зерна злаков, в частности с лигно–целлюлозным комплексом. При малом содержании в зерне пшеницы, ячменя и кукурузы лигниноподобных веществ (1–3,5%) и клетчатки (6–8,7%) их уровень в результате деструкции резко снизился (соответственно на 20–46 и 15–34%). Образовавшиеся декстрины перешли в группу легкогидролизуемых углеводов. Одновременно улучшилась переваримость как оставшегося комплекса некрахмалистых полисахаридов (на 5–11%), так и лигниноподобных веществ (на 45–70%). Произошли изменения в структуре легкогидролизуемых углеводов (крахмала и различных сахаридов), в результате которых их переваримость возросла с 13 до 43%.

Изменения в углеводах отрубей и гороха были несколько иными: резко повысились относительное содержание лигниноподобных соединений и их переваримость. Столь значительных сдвигов для комплекса некрахмалистых полисахаридов не отмечено. При этом переваримость сахаров и крахмала гороха возросла в 1,6 раза, что свидетельствует о глубоких преобразованиях в их химической структуре.

Эффект, полученный на рыбах, хорошо согласуется с эффектом, проявляющимся у теплокровных животных. Однако влияние клейстеризации крахмала для рыб оказалось менее значимым. По всей вероятности, это обусловлено различиями не только в биологии объектов, но и в режиме экструзии (для рыб она идет при меньшей температуре и, следовательно, менее эффективно). В то же время полученные нами результаты объективно подтверждают, что и при таких режимах экструзия вызывает деструкцию целлюлозно–лигнинного комплекса.

Результаты наших исследований позволили дополнить существующие в литературе сведения о влиянии экструзии на липидную часть сырья и подтвердить данные [Debort-Laval, Mercier, 1976] о снижении уровня липидов при экструзии. В нашем случае их разрушение наблюдалось во всех вариантах, кроме пшеницы, и сопровождалось небольшим уменьшением переваримости.

Воздействие экструзии на содержание и переваримость белков зерна злаков не было существенным. Увеличилась только переваримость сырого протеина кукурузы (на 11%). Однако резко повысилась (в 1,7 раза) доступность для рыб белка отрубей, что свидетельствует о благоприятном влиянии гидробаротермической обработки на растворимость белков оболочек, алейронового слоя зерна и зародышей. Резко снизилось относительное содержание сырого протеина гороха, что, по всей вероятности, произошло за счет разрушения летучих азотистых соединений.

Экструзия оказала заметное положительное влияние на доступность для рыб зольных элементов и фосфора пшеничных отрубей и отрицательное – зольных элементов ячменя и фосфора гороха.

Наилучший рыбоводный эффект был получен при кормлении карпов экструдированной кукурузой. Он выразился в ускорении роста рыб на 36% при снижении затрат корма на 29%. Далее (по убывающей) хороший эффект дали экструдированный ячмень (ускорение роста на 14%), горох (ускорение роста на 11% и снижение затрат на 23%), пшеница и ее отруби – ускорение роста соответственно на 10 и 6% при близких затратах корма.

Изучение изменений в химическом составе рыб дало основание сделать вывод, что ускорение их роста при содержании на монодиетах из экструдированных злаков сопровождалось повышением уровня сухого вещества в приросте в основном за счет активизации синтеза белка и липидов. Это наряду со снижением затрат корма на прирост массы рыб означает не только повышение эффективности использования рыбами экструдированного зерна в целом, но также его белков и энергии.

Отмечено благотворное влияние экструзии на питательность для рыб соевого, подсолнечного, рапсового и горчичного жмыхов и шротов. Это тем более важно, что существенным недостатком большинства из них является присутствие токсически действующих веществ и ингибиторов ферментов естественного происхождения. В соевом шроте, как и во многих других бобовых культурах, содержатся ингибиторы трипсина, липоксидаза, уреаза, гемагглютинины (фазин, фазеоток-

син), сапонины; в рапсовом – производные глюкозинолатов и синапин; в горчичном – аллилизотиоционат, аллиловые масла, афлатоксины, которые, помимо снижения питательной ценности кормов, могут вызвать отравления и смерть животных.

В то же время сила положительного влияния экструзии была различной, что обусловлено в основном особенностями химического строения семян масличных, степенью разрушения антипитательных факторов, а также уровнем деструкции и модификации основных групп питательных веществ после обработки. После экструзии в химическом составе жмыхов и шротов обнаружена тенденция к снижению уровня протеина (исключение – рапсовый шрот) и липидов (в случае подсолнечного и горчичного). Четкие изменения в углеводистой части отмечены только для горчичного жмыха и подсолнечного шрота. Они выразились в повышении уровня лигниноподобных веществ. Для соевого и рапсового шротов отмечена только подобная тенденция.

В значительно большей степени влияние экструзии проявилось на уровне пищеварительных процессов. О денатурации белков, разрушении ингибиторов протеаз и других антипитательных факторов свидетельствует повышение переваримости сырого протеина шротов: соевого – на 10%, рапсового – на 7%. Слабое повышение переваримости белков подсолнечника и горчицы (на 3–4%) дает основание говорить только о последствиях денатурации белка и стабильности действия других антипитательных факторов.

В результате модификации лигноцеллюлозного комплекса и деструкции легкогидролизуемых углеводов возросла переваримость общей суммы углеводов – на 18% горчичного жмыха и на 54% соевого шрота.

Судя по показателям переваримости зольных элементов, экструзия оказала благоприятное влияние на доступность минеральных веществ. В частности, это выразилось в снижении экскреции из организма эндогенных минералов (за исключением фосфора горчичного жмыха и соевого шрота). Описанные изменения привели к тому, что общее количество питательных веществ, извлекаемое рыбой из горчичного жмыха и подсолнечного шрота, возросло на 10–13% и на 30–39% – у соевого и рапсового.

При этом изменение продуктивного действия кормов, выраженное в приросте рыб и затратах корма, было неадекватным изменениям переваримости питательных веществ. Если среднесуточный прирост рыб, питавшихся экструдированным рапсовым шротом, возрос на 75%, а горчичным жмыхом – на 63% (при снижении затрат кормов соответсвенно на 20 и 37%), то в вариантах с соевым и подсолнечным шротами интенсивность роста повысилась только на 12 и 4%. При этом снижение затрат на 20% отмечено только в варианте с соевым шротом.

Таким образом, можно полагать, что при экструзии рапсового шрота и горчичного жмыха произошло существенное разрушение термолабильных антипитательных веществ, влияющих не только на пищеварительные функции, но и на обмен веществ.

Влияние экструзии на сырье животного происхождения было изучено на примере рыбной и мясокостной муки.

В случае экструзии рыбной муки был получен отрицательный эффект: снизился темп роста рыб на 20% при увеличении затрат корма на 30%. Это произошло на фоне значительного разрушения в муке углеводов, в основном гетерополисахаридов скелетных тканей (гиалуроновой и хондроитинсерной кислот) и частично гликогена, а также разложения липидов, что сопровождалось резким ухудшением их переваримости. Фосфор полностью перешел в форму, недоступную для карпа. В связи с возникшим дисбалансом минеральных элементов в пище у рыб отмечена нежелательная экскреция через пищеварительный тракт эндогенных минералов. В то же время несколько увеличилось относительное содержание в продукте денатурированных белков, и возросла их переваримость. По всей вероятности, подобное ухудшение питательных свойств рыбной муки обусловлено не только вышеперечисленными причинами, но и наблюдавшемся нами изменением протеинового отношения, окислением и разрушением незаменимых для

рыб высоконенасыщенных жирных кислот, а также термолабильных витаминов и других, не изучавшихся факторов животной пищи.

В противоположность рыбной, гидробаротермическая обработка мясокостной муки резко повысила ее пищевую ценность. Питательные вещества стали для рыб более удобоваримыми, общая переваримость возросла на 26%. Это происходило в основном за счет резкого увеличения переваримости сырого протеина (на 24%), углеводистых веществ (на 31%) и перехода значительной части минеральных соединений в легко расщепляемую форму.

После экструзии мясокостная мука как источник пищи делается более привлекательной для рыб и ее продукционный эффект резко повышается. По сравнению с гранулированной мукой среднесуточный прирост рыб возрос в 5 раз при одновременном снижении на 75% ее затрат на прирост массы.

Высокий положительный эффект экструдирования мясокостной муки резко повышает ее питательную ценность в кормлении рыб. Это обусловлено не только изменением структуры и улучшением переваримости всех питательных веществ, но и эффективной стерилизацией, а также в определенной мере детоксикацией образовавшихся в результате деятельности микрофлоры ядовитых веществ.

Из дрожжевых продуктов был изучен эприн – кормовые дрожжи штамма Torula utilis, культивируемые на синтетическом этаноле. В этом случае экструзия не оказала четко выраженного влияния, и ее действие можно считать нейтральным.

Таким образом, изучение изменений питательных свойств основных видов кормового сырья позволило установить, что в кормлении карпов четко выраженный положительный эффект достигается при экструзии кукурузы, ячменя, гороха, пшеничных отрубей, рапсового, соевого, горчичного жмыхов и шротов, а также мясокостной муки. Нейтральный или близкий к нему эффект получен для подсолнечного шрота, пшеницы и эприна. Экструзия рыбной муки оказала отрицательное действие. Торможение роста рыб вызывает и экструзия ростостимулирующего препарата липрина.

Неоднозначность эффекта при экструдировании различного сырья в наибольшей степени обусловлена изменениями его механических и физико-химических свойств.

Положительное влияние оказывают множественные разрывы клеточных оболочек, что облегчает обработку содержимого клеток пищеварительными ферментами. В результате клейстеризации и декстринизации изменяется структура крахмала и одновременно происходит деструкция и модификация лигно-целлюлозного комплекса, что в целом приводит к повышению переваримости углеводов. Увеличение переваримости белка (в меньших объемах, чем углеводов) вызывают его денатурация и разрушение ингибиторов протеаз. Минеральные вещества могут переходить в форму, более доступную для рыб. Все это в совокупности увеличивает переваримость корма в целом. Наблюдается эффект стерилизации и детоксикации корма.

Отрицательный эффект можно связать с разрушением протеина и аминокислот из-за высоких давления и температуры, образованием резистентных к пищеварительным ферментам связей лизина и метионина с углеводами и минералами, а также с разложением и окислением липидов, ухудшением их доступности организму рыб, разрушением термонеустойчивых витаминов.

Таким образом, несмотря на ряд отрицательных сторон воздействия экструзии на питательные свойства комбикормов для рыб, описанные положительные свойства превалируют, и в настоящее время она является наиболее прогрессивной технологией кормопроизводства не только для рыб, но и для сельскохозяйственных животных. Негативные эффекты достаточно свободно могут устраняться регулированием температурного режима, выборочной обработкой отдельных видов сырья перед включением в комбикорм, дополнительным введением витаминов, комбинацией экструдирования части сырья и изготовления комбикорма способом сухого прессования.

5.3.3. Технология экспандирования

Экспандирование – процесс, когда корм подвергается воздействию влаги, давления и температуры. Увеличение объема происходит благодаря резкому перепаду давления.

В начале 80-х годов XX века в Германии был предложен винтовой термальный кондиционер высокого давления для изготовления комбикормов для сельскохозяйственных животных. Он состоял из барабана и одноосного шнека с болтами-ограничителями, а также впускных клапанов для пара и воды и являлся своего рода гибридом механического маслопресса и экструдера.

Эта машина обладала уникальной системой контроля рабочего давления – гидравлически настраиваемым "кольцевым зазором", который представлял собой съемный конический клапан, вставляемый в кольцеобразное выпускное отверстие. Это устройство, получившее называние "экспандер Амадея Каала", давало возможность повышать температуру кондиционирования до 140°С за время, измеряемое секундами. В результате термопрессионная обработка сырья была интенсивной, но кратковременной, а потенциальная производительность – очень высокой. Кроме того, экспандер был компактен и мог быть легко встроен, без особых переработок, в существующие производственные линии.

Бушевавшая в Западной Европе в конце 80-х годов эпидемия сальмонеллеза у сельскохозяйственных животных и человека заставила вести поиск новых технологий и кормового оборудования, способных уничтожать в комбикормах патогенную микрофлору до высокой степени стерильности. В связи с этим возрос интерес к экспандерам и прочим суперкондиционерам. Кроме того, с использованием этой технологии представлялась возможность перерабатывать для целей кормопроизводства отходы сельскохозяйственного и пищевого производства, а также введения в корма жидких добавок. Но главной причиной повышенного интереса к новой технологии была ее способность повышать качество гранул.

Экспандер оказался особенно эффективным в повышении прочности гранул и снижении их крошимости. При его использовании желатинизация крахмала достигала высокой степени даже при добавлении больших количеств жира, мелассы и других жидких добавок. Высокий эффект термообработки или «варки» в экспандере дополнял либо полностью замещал традиционное паровое кондиционирование перед гранулированием. В результате обычный пресс-гранулятор стал выполнять функцию формообразующего устройства с одновременным снижением расхода энергии при гранулировании.

В современном виде экспандер является главным элементом линии производства экспандированных комбикормов. Он представляет собой стальную толстостенную конструкцию в сегментном исполнении с устройством загрузки и выгрузки продукции, внутренним шнеком с переменным шагом, модульными узлами смешивания и кондиционирования, со стопорными винтами и форсунками-инжекторами для подачи пара под давлением, а также жидких продуктов (воды, мелассы, жиров и т.д.). Общая схема устройства экспандера представлена на рис. 9.

В отличие от экструдера на экспандере вырабатывается рассыпной продукт, который в дальнейшем при изготовлении рыбных комбикормов нуждается в гранулировании.

Управление процессом экспандирования осуществляется в автоматическом режиме с использованием программного обеспечения.

Современные экспандеры с кольцевым зазором способны достигать производительности от 1 до 70 т/ч. Варьированием длины экспандера, а также его "начинки" – лопастей, болтов-прерывателей, выпускных отверстий, можно настроить экспандер на выпуск широкого круга структурированных продуктов.

Экспандированным структурированным комбикормом называют такой комбикорм, который проходит гидробаротермическую обработку с помощью экспандера и может либо непосредственно скармливаться в виде рассыпного продукта,

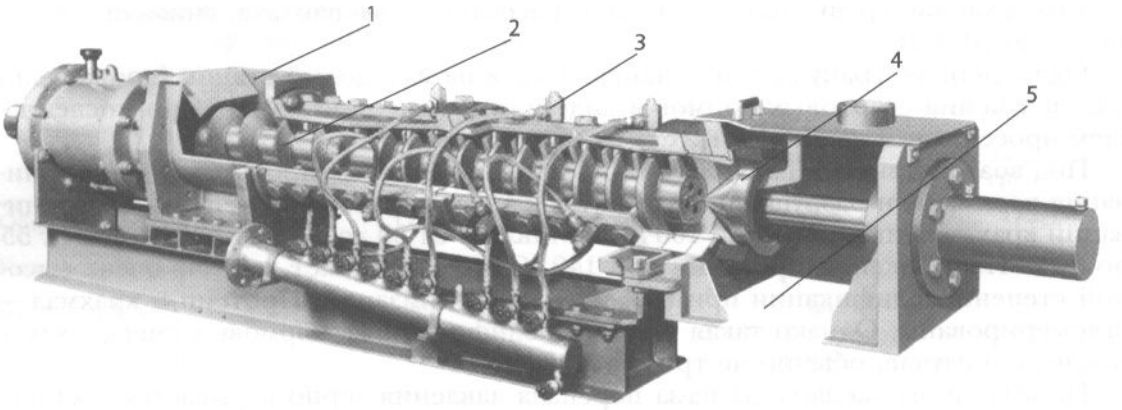


Рис. 9. Общий вид экспандера:
1 – загрузка кормосмеси; *2* – шнек; *3* – падача пара; *4* – конус (шток);
5 – выбой готового продукта

либо после гранулирования. Экспандат свободен от патогенных микроорганизмов, лучше растворяется в воде и очень хорошо вытекает из силосов и отсеков хранилищ кормов и автоматических кормушек.

На химические и физические характеристики корма в экспандере воздействуют такие параметры обработки, как влажность, температура, давление, а установленное затем устройство для измельчения – структуратор, обеспечивает требуемые размеры частиц. Экспандированный структурированный корм может быть получен из любого монокомпонента или зерновой культуры, концентрата с высоким содержанием обменной энергии, белкового концентрата или готового к употреблению комбикорма. Этот вид корма может заменять следующие традиционные кормовые продукты:

– обычный рассыпной комбикорм, отрицательными сторонами которого являются высокая сыпучесть, пылеобразование и невысокое усвоение питательных веществ;

– гранулированный комбикорм, если в процессе скармливания нет необходимости в гранулах устойчивой формы, а применение рассыпного комбикорма нежелательно;

– крупку, приготовляемую путем измельчения гранул в крошителе.

Экспандер также хорош в целях превращения монокомпонентов в смесь устойчивой формы. Экспандированные монокомпоненты могут быть использованы в качестве наполнителей микрокомпонентов, например, в кормах с добавлением медикаментов, органических кислот или диетических кормов. Монокомпоненты с большим содержанием клетчатки, такие как отруби и шрот, можно экспандировать целенаправленно или использовать в качестве компонента в готовом корме.

Технологическая схема производства экспандированных комбикормов, рекомендуемая крупнейшим изготовителем экспандеров – фирмой "Амандус Каль" (Германия), включает следующие операции:

• подача рассыпной кормосмеси из бункера-накопителя дозирующим шнеком;

• предварительное кондиционирование с помощью пара, воды и других жидкостей в смесителе-кондиционере, осуществляемое при температуре 80–90 °С и влажности около 18%. Время кондиционирования составляет от нескольких секунд до 2 мин;

• в отдельных случаях дополнительное кондиционирование для более глубокой обработки продукта в специальном устройстве с подачей пара (около 10 мин, температура до 100 °С);

• гидробаротермическая обработка комбикорма в экспандере при температуре 100–140 °С, давлении 20–40 бар (1,96–3,92 МПа), влажности около 18–20%;

• измельчение корма в структураторе для получения однородного продукта;

• при необходимости получения гранулированного комбикорма – прессование в грануляторе при стандартных параметрах производства;

• охлаждение гранулированного или рассыпного экспандата, снижение влажности до 10–12%.

Охлажденные гранулы могут направляться на вальцовый станок (крошитель) для получения стартовых кормов в виде разноразмерной крупки при последующем просеивании на виброситах.

Под воздействием тепла, влаги и давления в зерновых происходят декстринизация крахмала, и разрушение структуры клеточных стенок. Степень декстринизации крахмала пшеницы при 100 °С составляет от 30 до 40%, при 120 °С – от 55 до 60%. После экспандирования при 140 °С крахмал может достичь очень высокой степени модификации при 90%-ной декстринизации. Протеин и крахмал – агломерированы. Однако такая степень модификации в кормовых смесях, как в последнем случае, обычно не требуется.

На выходе из экспандера из-за перепада давления зерно взрывается и становится более доступным для действия пищеварительных соков и ферментов. При обработке комбикормов рабочий диапазон температур, как правило, составляет от 100 до 110 °С.

При декстринизации крахмала образуется агломерат, который физически может связывать добавляемые в корм жир, мелассу и другие жидкие компоненты, что способствует улучшению качества гранул, повышению переваримости и снижению затрат корма на прирост массы рыб.

Важно отметить, что при гранулировании экспандированного комбикорма появляется возможность увеличить количество вводимого жира в 3,5–4,0 раза (еще прессования). Прочность и качество гранул, несмотря на высокую добавку жира перед прессом, лучше, чем гранул, изготовленным традиционным методом. Кроме того, экспандирование кормосмеси способствует увеличению производительности пресс-гранулятора на 20–25% и снижению удельной энергоемкости процесса.

Представляют интерес и данные о влиянии различных видов обработки комбикормов для птицы на переваримость питательных веществ и метаболизируемую энергию (МЕ). После экструзии обнаружено достоверное повышение доступности для организма клетчатки, жиров, протеина и МЕ (табл. 80).

Таблица 80. Переваримость питательных веществ у птиц и МЕ комбикормов при разных технологиях обработки, %

Вещества	Гранулирование	Экспандирование + гранулирование	Экспандирование
Органические вещества	68,6	70,2	69,8
Сырой протеин	78,5	77,2	82,9
Сырой жир	70,6	82,3	82,9
Крахмал	97,8	98,9	98,4
Клетчатка	8,2	16,1	17,9
МЕ, ккал/кг	2799	2920	2918

Повышение переваримости обусловлено тем, что процесс экспандирования разрывает нативные клетки, содержащие жиры, и они становятся более доступными для переваривания и усвоения. Клетчатка из полукристаллической структуры преобразуется в аморфную, протеин денатурируется, что также способствует его лучшему перевариванию.

Можно предположить, что у рыб усвоение крахмала и энергии экспандированных продуктов по сравнению с гранулированными будет существенно выше, чем у птиц.

За счет воздействия повышенной температуры и давления при производстве экспандированных кормов, как показали исследования немецких ученых, наблюдается существенное улучшение их санитарно-гигиенического качества (табл. 81).

Таблица 81. Эффективность гигиенической обработки некоторых видов кормов при экспандировании (данные фирмы "Амандус Каль", 2003)

Показатели бактериальной обсемененности, тыс/г	Корм для птиц		Корм для свиней	
	исходное сырье	после экспандера 100 °С	исходное сырье	после экспандера 110 °С
Общее число бактерий	12100	30	16,5	9 тыс.
Колиформы бактерий	110	0	0,4	0
Бактерии E. coli	400	0	90	0
Плесневые грибы	7	0	450	0

Таким образом, после прохождения корма через экспандер общая бактериальная обсемененность снизилась до 400 раз и, что самое главное, полностью уничтожены патогенные бактерии E.coli и плесневые грибы. Это следует рассматривать как чрезвычайно положительный эффект технологии экспандирования комбикормов.

Как установлено специальными исследованиями (табл. 82), обработка кормосмеси, содержащей необходимый рыбам комплекс из 14 витаминов (А, $Д_3$, Е, $К_3$, Н, С и группы В), в экспандере даже при температуре 115 °С имеет, хотя и небольшие, но преимущества в сохранности витаминов перед сухим прессованием. В то же время обработка "экспандер + пресс-гранулятор" дает несколько худшие результаты, особенно по витамину К, чем сухое прессование.

Таблица 82. Остаточная активность витаминов после технологической обработки кормов в разных температуратурных условиях, %

Витамины	Экспандер		Экспандер + пресс-гранулятор		Пресс-гранулятор	
	101–105 °С	111–115 °С	86–90 °С	91–95 °С	86–90 °С	91–95 °С
А – ретинол-пальмитат, капсулированный	97	95	93	90	94	91
$Д_3$ – холекальциферол, капсулированный	98	96	93	91	93	92
Е – токоферол-ацетат	97	95	92	90	93	92
$К_3$ – менадион	82	78	93	58	75	72
$В_1$ – тиамин мононитрат	96	92	87	82	89	87
$В_2$ – рибофлавин	92	88	84	78	89	87
$В_6$ – пиридоксин	94	91	85	79	87	85
$В_{12}$ – цианкобламин	97	96	94	92	96	96
$В_3$ – пантотеновая кислота	95	92	86	82	89	87
$В_c$ – фолиевая кислота	94	91	85	81	89	87
$В_7$ – биотин	94	91	85	81	89	87
$В_5$ – ниацин	93	89	85	80	90	89
С – аскорбил-полифосфат	98	96	92	89	93	92
$В_4$ – холин-хлорид	99	98	97	95	97	97

В заключение приводим обобщенные аналитические данные (табл. 83), характеризующие влияние основных технологий производства на показатели качества комбикормов для рыб.

Таблица 83. Эффективность различных технологий производства комбикормов

Показатели	Экструзия	Экспандирование + гранулирование	Сухое прессование
Общая переваримость кормов	Высокая	Высокая	Средняя
Переваримость углеводов	Очень высокая	То же	Низкая
Желатинизация крахмала	То же	–"–	Средняя
Водостойкость гранул	–"–	–"–	То же
Крошимость гранул	Очень низкая	Низкая	–"–
Инактивация патогенной микрофлоры	Полная	Полная	Умеренная
Детоксикация	Да	Да	Нет
Разрушение ингибиторов пищеварения	То же	–"–	То же
Возможность регулирования плотности	–"–	Нет	–"–
Деструкция питательных веществ, образование трудноперевариимых комплексов	–"–	–"–	–"–
Максимальная жирность корма:			
при первичной обработке	15%	13%	8%
общая конечная	35–40%	30–35%	13–14%
Инактивация витаминов	Средняя	Слабая	Слабая
Энергоемкость	Высокая	Средняя	Ниже средней

Таким образом, по совокупности показателей очевидны преимущества экструзии и экспандирования по сравнению с сухим прессованием.

***

Согласно приведенным выше данным, современное кормопроизводство характеризуется достаточно широким спектром способов технологической обработки кормового сырья и изготовления готовой продукции. Наиболее эффективными из них применительно к кормопроизводству для рыб являются экструдирование и экспандирование с последующим гранулированием, которые позволяют не только получить высококачественные комбикорма оптимальных физико-механических характеристик (низкая крошимость, высокая водостойкость), но и существенно повысить переваримость и доступность для организма основных питательных веществ кормового сырья. Оба метода основаны на глубокой гидробаротермической обработке кормов, которая с одной стороны, оказывает положительное действие, выражающееся в инактивации ингибиторов пищеварительных ферментов, деструкции некоторых трудноусвояемых веществ, стерилизации получаемых продуктов, а с другой, – приводит к неблагоприятным последствиям: образованию плохо переваримых белково-углеводных комплексов, разрушению термолабильных биологически активных веществ, денатурации нативных физиологически важных соединений. К примеру, используя наиболее эффективный вид рыбной муки, вырабатываемой по технологии низкотемпературной сушки, при экструзионной обработке мы подвергаем ее острой температурной атаке под высоким давлением, что неминуемо приводит к частичной утрате ее ценных качеств.

Вполне очевидно, что необходимы дальнейшие исследования по оптимизации схем и методов производства комбикормов с тем, чтобы в максимальной степени использовать положительные стороны той или иной технологии, минимизируя их недостатки. Есть экспериментально доказанные основания полагать, что в глубокой гидробаротермической обработке нуждаются не все, а лишь отдельные виды кормового сырья, прежде всего растительного происхождения, а экструзию кормовой смеси целесообразно проводить в более "щадящем" режиме.

Глава 6

Оценка питательности кормового сырья и комбикормов

В оптимальном варианте под общей питательностью корма следует понимать сумму переваримых питательных веществ (белков, жиров, углеводов, минеральных соединений) и заключенной в них энергии, а также полезных для организма различных химических веществ (в частности витаминов) и их соответствие потребностям организма рыб. Иными словами – это способность корма удовлетворить потребности рыб, находящихся в том или ином физиологическом состоянии.

Оценка питательности корма строится на сопоставлении органолептических показателей, аналитических или расчетных характеристик компонентного и химического состава, учете специфических свойств сырья, а также на результатах прямых биологических испытаний.

6.1. Органолептическая оценка

Этот показатель характеризует природные свойства продукта и степень его свежести. Качество оценивается по таким признакам как внешний вид, цвет, запах и вкус.

Изменение *цвета и внешней фактуры* может означать различную степень порчи продукта. *Запах* также служит важным признаком качества. Доброкачественное сырье не должно иметь никаких несвойственных ему запахов. Появление запаха плесени означает начало порчи поверхностных слоев продукта в результате поражения их прежде всего плесневыми грибами. Затхлый запах сопровождает порчу более глубоких его слоев в результате развития наряду с плесневыми грибами различных микроорганизмов. Гнилостный запах свидетельствует уже о длительном микробиологическом разложении продукта, которое сопровождается его самосогреванием и прогорканием.

Вкус определяют обычно в тех случаях, когда по запаху трудно установить свежесть продукта. Для каждого вида сырья эти показатели стандартизированы, что отражено в соответствующих документах (ГОСТ, ОСТ, ТУ).

Немаловажное значение имеет оценка *безвредности* сырья или его *токсичности*. Общая токсичность – это совокупное действие токсинов, поступающих в комбикорм с различными видами сырья и образующимися при хранении в результате деятельности микрофлоры. Например, в зерновых продуктах одновременно могут быть обнаружены бактериальные токсины и микотоксины, токсины зерновых вредителей и повышенные концентрации пестицидов. В животном сырье, в частности в рыбной и мясокостной муке, могут присутствовать одновременно бактериальные токсины и продукты окисления жировых компонентов (альдегиды, перекиси, гидроперекиси), обладающие различным уровнем токсичности. Совместное действие токсинов может быть аддитивным (арифметическое сложе-

ние эффекта) или синергическим (усиление взаимного действия). Общая токсичность определяется в основном методами биологического тестирования. Тест-объектами обычно служат рыбы – гуппи (методика утверждена ГУВ МСХ СССР в 1980 г.) и инфузории стилонихии (ГОСТ № 13496.7.2004).

6.2. Расчетная система оценки

Как правило, расчетная система оценки кормов строится на основе табличных данных, полученных в ходе научных исследований, и базируется на соответствии показателей, характеризующих валовое содержание и количество переваримых элементов питания в кормах и потребностях в них конкретных видов и возрастных групп рыб.

В целях интеграции, необходимой для упрощения схемы анализа, набор многочисленных соединений, входящих в корма, принято идентифицировать по группам. В основу группировки положено сходство веществ по элементарному составу, структурной организации и функциональным свойствам. В группу органических веществ входят: сырой протеин, сырой жир (общие липиды), сырая клетчатка и сумма углеводистых веществ, так называемых безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). В группу минеральных веществ входят вода и сумма минеральных элементов – сырая зола. Термин «сырой» означает, что в группе содержится не только чистое вещество, но другие соединения, определяемые совместно.

6.2.1. Белковая питательность

Белковая питательность корма оценивается по трем основным показателям: 1 – количеству валового и переваримого сырого протеина; 2 – качественному и количественному составу аминокислот и их доступности для организма рыб; 3 – обеспеченности валового и переваримого протеина энергией.

Общее количество белка в корме должно соответствовать оптимальной потребности рыб (см. табл. 2–4 главы 1.1). Если достижение этого соответствия не реально, то в большую сторону изменяют рекомендуемые нормы кормления. Предел – способность рыб поглощать определенное количество корма. В качестве примера может служить табл. 1 Приложения.

Степень аминокислотной полноценности белка рассчитывается по скорам доступных (или при отсутствии данных) валовых незаменимых аминокислот (см. таблицы главы 3, табл. 8 Приложения). При этом обязательно выделяются лимитирующие аминокислоты и определяются величины этого лимита. Белок считается достаточно полноценным, если скоры доступных лимитирующих кислот составляют более 75%. Оптимальная обеспеченность белка энергией показана в табл. 5. В случае обнаружения недостатка энергии рекомендуется дополнительное введение растительных или животных жиров.

6.2.2. Питательность липидной части

Оценка ведется на основании сопоставления общего содержания липидов в корме с оптимальными значениями, обеспечивающими нормальный или ускоренный рост рыб (раздела 1.2 и табл. 77). При этом контролируется соответствие жирнокислотного профиля корма (см. табл. 8) потребностям рыб в незаменимых жирных кислотах. Особое внимание следует уделять соотношению жирных кислот линолевого (n-6) и линоленового (n-3) рядов.

6.2.3. Питательность углеводов

Относительное содержание углеводов в корме недостаточно информативно, так как в силу своего происхождения (животные, растительные, микробиальные) они различаются по структуре, химическому составу и степени переваримо-

сти у рыб. Содержащиеся в растительном сырье трудногидролизуемые углеводы, к которым относятся некрахмалистые полисахариды (клетчатка, пентозаны, гемицеллюлозы, лигнин, пектиновые вещества), а также преобладающий в зерновом сырье β-крахмал, доступны для рыб на 30–35%, возможно и менее. Легкогидролизуемые углеводы (моно-, ди-, олигосахариды), а также гликоген извлекаются из кишечника на 70–90% и более, но они присутствуют в обычных комбикормах в малых количествах. При наличии в корме значительных количеств сырого крахмала и некрахмалистых полисахаридов следует обращать внимание, применялась ли гидробаротермическая обработка отдельных видов сырья или комбикорма в целом (экструзия, экспандирование), после которой значительно повышается их переваримость (см. раздел 2.4.3 и главу 5). В связи с изложенным оценка углеводистой части должна вестись по количеству доступной для рыб энергии. Для этого на основе табличных данных находят количество переваримых углеводов в каждом виде сырья, суммируют его и умножают на коэффициент 4,2 для выражения в ккал, или на 17,6 – для выражения в килоджоулях (кДж).

6.2.4. Степень полноценности минерального состава

В связи с наличием у рыб двух способов минерального питания – алиментарного и осмотического, оценка минеральной питательности кормов затруднена. Обычно ее оценивают с позиций возможного дефицита. С недостаточностью макро- и микроэлементов на практике обычно сталкиваются в индустриальных хозяйствах, в основном имеющих оборотную систему водоснабжения, или в географических зонах, дефицитных по определенным минералам. Как правило, дефицит проявляется после достаточно длительного применения того или иного комбикорма, когда становятся очевидными явные признаки недостаточности минерала (см. табл. 11). Его вероятность может быть спрогнозирована заранее путем сопоставления данных о потребностях рыб (см. табл. 10), минеральном составе корма (по табличным данным) и химическом составе воды, поступающей в хозяйство (по результатам анализов). К примеру, если потребность рыб в таких макроэлементах, как кальций, магний, натрий, калий, может покрываться в большей части осмотическим путем, то дополнительное их внесение в корма целесообразно только на слабоминерализованных водах. Потребность в фосфоре полностью обеспечивается за счет пищи. Однако в кормах, как описано выше, он может присутствовать в формах, слабо доступных для рыб, например, в виде фитатов – солей фитиновой кислоты, или в составе гидроксиапатита костей рыб и животных (см. табл. 24 и 25). Поэтому, чтобы оценить степень его достаточности в рационе, например для карпа, следует воспользоваться табл. 26. Эти данные можно распространять на другие виды рыб.

Дефицит микроэлементов можно спрогнозировать, исходя из известных данных об особенностях биогеохимической провинции, где расположено хозяйство [Ковальский, Гололобов, 1959], а также набора и количества компонентов кормов. Есть данные, что в присутствии больших количеств рыбной муки, особенно белой, в корма необходимо дополнительно вводить микродозы цинка, марганца, меди. При высоком содержании дрожжевых продуктов следует контролировать уровень селена, йода и т. д.

Известный дефицит микроэлементов обычно устраняется при введении в корм минеральных комплексов или минерально-витаминных смесей.

6.2.5. Питательность витаминов

Дефицит витаминов обычно привлекает внимание при замедлении роста рыб и проявлении различных аномалий в развитии, внешнем строении, окраске тела, поведении рыб. Для диагностики служат отдельные признаки, приведенные в табл. 14 и табл. 2 Приложения. Однако практически во все современные комбикорма, особенно предназначенные для индустриальных хозяйств, вводятся поливитаминные премиксы, что должно предотвратить возникновение авитаминозов

и гиповитаминозов. Это вызвано необходимостью, связанной с разрушением витаминов при гидротермической обработке сырья еще до включения в комбикорма (сушке, дроблении, тостировании, экструдировании и т.д.) или в процессе их изготовления, а также последующего хранения. Назначение премиксов – не только восполнить недостаток витаминов в комбикормах, но и обеспечить их небольшой избыток, покрывающий разрушение витаминов в процессе изготовления и хранения, а также повышение потребности рыб в витаминах при стрессах, вызываемых различными технологическими причинами.

6.2.6. Энергетическая питательность

Является одним из важных элементов характеристики питательных свойств комбикорма. Для ее оценки использовались ранее и в настоящее время применяются отдельно или в различных комбинациях следующие показатели.

Валовая энергия. Представляет собой сумму потенциальной энергии всех питательных веществ. Определяется двумя способами: сжиганием корма в калориметрической бомбе, содержащей кислород под давлением 25–30 атм, или расчетным методом путем суммирования средних показателей теплоты сгорания трех содержащих энергию компонентов. При этом применяются следующие энергетические эквиваленты, ккал/(кДж/г): для углеводов – 4,2 (17,57), липидов – 9,5, (39,75), протеина – 5,7 (23,85).

Переваримая энергия. Сумма потенциальной энергии переваренных веществ. Рассчитывается после определения переваримости органических веществ посредством умножения на калорические коэффициенты или определяется прямым способом путем сжигания кормов и соответствующего количества экскрементов в калориметрических бомбах.

Обменная, или физиологически полезная, энергия (другие синонимы – физиологическая калорийность, обменная энергия, метаболизируемая энергия). Определяется расчетным способом путем умножения переваренного белка на энергетический эквивалент, предполагающий выделение жидких и газообразных продуктов его распада с образованием аммонийных соединений, который (из-за отсутствия точных определений) принимается за 4,4 ккал (18,41 кДж/г белка), а также умножением количества переваренного жира на 9,5 ккал/г (39,75 кДж/г), переваренных углеводов – на 4,2 ккал/г (17,57 кДж/г).

Энерго-протеиновое отношение – количество валовой или переваримой энергии корма, приходящейся на единицу валового или переваримого белка. Показатель обычно получают путем деления количества энергии, содержащейся в 100 г корма, на процентное содержание в нем белка. Выражают в виде отношения числа килокалорий или килоджоулей на 1 г протеина в валовых или переваримых показателях.

Отношение протеин-энергия. Это количество переваримого белка (мг), приходящегося на единицу переваримой энергии (1 ккал или 1 кДж). Рассчитывают путем деления количества мг белка в 100 г на калорийность 100 г корма.

Соотношение энергии азотсодержащих и безазотистых веществ. Выражается в энергии валовых и переваримых веществ. Содержит информацию о различиях в количестве энергии, которую организм получает, с одной стороны, за счет белков, с другой – за счет углеводов и жиров. Выражается в виде отношения суммарной доли энергии жиров и углеводов, приходящейся на 1 ед. энергии белка.

Доля энергии белка и липидов в общей валовой и переваримой энергии. Рассчитывается как процентное отношение энергии белка или липидов к общей энергии корма.

В качестве примера использования энергетических показателей можно рассматривать табл. 17, 18 и табл. 78 , в которой приведены энергетические составляющие высокопитательных кормов для карпа. В табл. 5 имеются сведения о соотношении переваримых протеина и энергии в высокопродуктивных комбикормах для некоторых видов пресноводных рыб.

Среди перечисленных показателей, характеризующих потенциальную энергию пищи, в настоящее время наиболее информативными признаются: *величина переваримой и обменной энергии, доля в ней белка и липидов, а также отношение протеин-энергия, выражаемое в количестве переваримого белка (мг) на 1 кДж переваримой энергии.*

6.3. Оценка питательности кормового сырья и комбикормов на рыбах

Интегральная оценка питательности корма в целом, что особенно важно при разработке состава рецептур комбикормов, может быть получена при совокупном анализе комплекса расчетных показателей и результатов рыбоводно-биологических испытаний. При проведении последних определяется переваримость и эффективность использования рыбами отдельных питательных веществ, необходимых для обеспечения активного роста и корма в целом. В сокращенном варианте оценка строится на результатах наблюдений за ростом и выживаемостью рыб, учете количества поедаемого корма и его затрат на прирост массы, а также получаемой продукции.

Постановку экспериментов по оценке питательности комбикормов для рыб предлагается осуществлять следующим образом:

– группы рыб, однородных по происхождению, массе, размеру, возрасту и физиологическому состоянию, помещают в бассейны или аквариумы с регулируемыми или нерегулируемыми условиями среды, или в пруды;

– число рыб, количество вариантов и степень повторности зависят от задач опыта;

– при отлове рыб из естественных водоемов проводят антипаразитарную обработку, после чего их выдерживают в течение 3–5 дней без кормления;

– длительность испытаний обусловливается задачами работы, но обязательно должен быть предусмотрен двухнедельный предварительный период, необходимый для акклимации рыб к условиям опыта;

– по мере надобности период испытаний может быть разбит на отдельные дополнительные учетные периоды, после окончания каждого периода, берут пробы рыб на химический анализ;

– кормление начинают постепенно, доводя количество корма от 0,2% массы рыб до нормы, контролируя его поедаемость; в зависимости от поставленных задач норма кормления варьирует в необходимых пределах при непременном контроле поедаемости корма;

– для определения суточных рационов в аквариальных условиях помимо учета количества вносимого корма необходим сбор несъеденных остатков, которые через определенное время после кормления собирают в емкости, сушат, взвешивают и учитывают по сухой массе;

– при работе с новыми видами сырья при постановке рыбоводно-биологических опытов обязательным условием является выполнение варианта с монодиетой, что позволяет выявить индивидуальные свойства испытуемого компонента и их изменения при хранении или новой технологии изготовления;

– для оценки степени влияния на питательность комбикорма новый компонент вводится в его состав путем частичной и полной замены аналогичного сырья с известной питательностью или в виде добавок. С этой же целью можно использовать "Метод оценки влияния отдельных ингредиентов на питательную ценность рациона для рыб" [Щербина, Трямкина, 1975], который предполагает замену испытуемого компонента инертным веществом. Для этого можно использовать окись хрома в количестве 2–15%.

Для получения объективных данных о питательности корма очень важен учет способа его изготовления, режима кормления и техники раздачи. При выборе способа изготовления экспериментальных партий комбикормов необходимо учитывать характер питания рыб. Например, для бентосоядного карпа, выращиваемого в прудах и бассейнах, наиболее приемлемы гранулы, изготовленные спосо-

бом влажного прессования или экструзии, с водостойкостью не менее 30–40 мин, дающие наименьшие потери питательных веществ в воде. При проведении опытов с карпами в садках на теплых водах в условиях оптимальных температур, когда активность питания рыб высока, возможно, использование обычных гранул сухого прессования, для форели, схватывающей корм в толще воды, могут применяться не только гранулированные, но и пастообразные корма.

Перед началом кормления и после окончания опытов отбирают среднюю пробу корма и рыб (10–30 экз.) для химических анализов.

6.3.1. Характеристика роста и выживаемости рыб

Рост является обобщенным показателем, отражающим условия выращивания и полноценность кормления рыб. Наблюдения за ростом рыб ведут ежедекадно, проводя контрольные обловы. При выращивании рыб в прудах место, число участков и время отлова рыб выбирают в зависимости от площади и формы пруда с учетом особенностей каждого водоема (обычно их три или четыре). Число отловленных рыб в зависимости от количества посаженных должно составлять 1–5%.

Для характеристики интенсивности роста используют показатели абсолютного, относительного и среднесуточного приростов, а также коэффициенты массонакопления.

Абсолютный прирост. Рассчитывают по разности между начальной и конечной массой рыб.

Относительный прирост. Характеризует интенсивность роста рыб в сравнении с начальной массой или в среднем за период и выражается в процентах:

$$\Delta M = \frac{M_t - M_0}{M_0} 100\%, \; \Delta M = \frac{2(M_t - M_0)}{M_t + M_0} 100\%,$$

где M_0, M_t – средняя масса рыб в начале и конце периода соответственно.

Среднесуточный прирост, или удельная скорость, роста (Cw). Показывает процентное изменение массы рыб за каждые сутки периода. Для этого в формулу вводится его продолжительность (t) в сутках:

$$C_w = \frac{2(M_t - M_0)}{(M_t + M_0)t} 100\%.$$

Если удельная скорость роста рыб превышает 10%, что обычно наблюдается на ранних постэмбриональных стадиях развития, в расчетах используют разность натуральных логарифмов конечной и начальной массы рыб:

$$C_w = \frac{\ln M_t - \ln M_0}{t} 100\%.$$

Коэффициент массонакопления K_m. При больших различиях в начальной массе рыб между вариантами опыта применяют этот показатель [Баранов и др., 1979]:

$$K_m = \frac{(M_t^{1/3} - M_0^{1/3}) \cdot 3}{t} 100\%.$$

Выживаемость рыб. Выражается в процентах от общего числа наблюдаемых рыб.

Смертность. Это абсолютное или относительное количество рыб, погибших за этап или весь период выращивания.

6.3.2. Оценка продуктивного действия корма

Строится на сопоставлении комплекса показателей: скорости роста рыб и их конечной массы; получаемой рыбопродукции, затрат корма и их стоимости, эффективности использования питательных веществ и энергии корма на прирост массы рыб. Кроме того, желательно знать качество выращиваемой продукции.

Последнее определяется с учетом массы рыб, их химического состава (в основномбелков, жиров, воды), коэффициента упитанности и индекса мышц (т.е. их относительного содержания в теле рыб, %).

При выращивании рыб в прудах желательны такие дополнительные характеристики, как количество комбикорма, недоиспользуемого рыбами, которое можно определить по разности между затратами вносимого в пруды комбикорма и поедаемого рыбами. Эти характеристики основаны на определении суточных рационов рыб и содержания в них комбикорма и естественной пищи, что подробно изложено в наших методических указаниях [Щербина, Рекубратский, Киселев, 1987].

Рыбопродукция (R). Рассчитывается на единицу площади или объема рыбоводных емкостей как абсолютный прирост массы рыб за весь период выращивания:

$$R = M_t K_t - M_0 K_0,$$

где K_0, K_t — число посаженных и выловленных рыб соответственно.

Затраты корма (З). Затраты корма на единицу прироста массы рыб являются показателем, отражающим эффективность используемой технологии выращивания и кормления. В индустриальных хозяйствах, помимо качества корма и техники кормления, большое влияние на этот показатель оказывает степень насыщения воды кислородом, температура и состояние среды.

В прудовых условиях величина этого показателя также зависит от качества комбикорма, применяемой системы нормирования и техники кормления; температуры воды, а также состояния естественной кормовой базы. При этом различают затраты внесенного в пруд комбикорма и съеденного рыбами (истинные *затраты, или кормовые коэффициенты*).

Затраты корма рассчитываются за отдельный период или в целом за опыт: как отношение количества корма (или отдельных питательных веществ и энергии), внесенного в емкость, где выращивается рыба, к единице прироста массы:

$З = E_в/R$,

где $E_в$ — количество внесенного корма, кг; R — полученная продукция, кг.

Кормовой коэффициент $К_к$. Представляет собой отношение количества корма, съеденного рыбами, к приросту единицы массы (синонимы: *затраты съеденного корма, или истинные затраты корма*).

Этот показатель меньше *затрат вносимого корма* на величину потерь от механического рассеивания и экстракции, возникающих при попадании корма в воду и в процессе питания рыб, а также в результате его неполного поедания.

В аквариальных и индустриальных условиях, где возможен учет несъеденного корма и механических потерь, он может быть определен несколькими способами:

— $К_к = (E_в - E_{нс})/R$, где $E_{нс}$ — количество несъеденного корма и потери при размывании.

— Если известны суточные рационы рыб, то $К_к = P_k/C_w$, где P_k — среднесуточное потребление корма (среднесуточный рацион), % средней массы рыб в сутки; C_w — среднесуточный относительный прирост рыб за период или в целом за сезон, % средней массы рыб в сутки.

Среднесуточный рацион (P_k) можно определить с использованием «Методических указаний по оценке эффективности применения комбикормов в прудовых хозяйствах на основе определения суточных рационов рыб» [Щербина, Рекубратский, Киселев, 1987].

Учет количества комбикорма, съеденного рыбами, методически очень сложен, особенно в тех случаях, когда несъеденные остатки падают на дно и смешиваются с экскрементами, а в прудах также и с илом, или могут быть вынесены с током воды. В опытах с форелью в условиях аквариумов и бассейнов с известной долей допущения можно использовать предложенный В. Лавровским и М. Белковским [1976] метод прямого учета заданного корма, несъеденных остатков и выделенных экскрементов. Наиболее точно количество съеденного корма можно определить с использованием автокормушек [Лавровский, 1979 и т.д.].

Если эксперименты проводили в прудах и крупных емкостях, то реконструировать потребленную пищу можно на основе периодических круглосуточных наблюдений за индексами наполнения пищеварительного тракта с последующей реконструкцией съеденного корма по коэффициентам его переваримости [Щербина, Рекубратский, Киселев, 1987].

Из общего количества внесенного корма следует вычесть несъеденные рыбами остатки и его суммарные потери при раздаче из–за распыления на воздухе и размывания в воде. Техника этих определений и расчетов подробно изложена в упомянутых выше "Методических указаниях..." [Щербина, Рекубратский, Киселев, 1987].

В рыбоводной практике под термином *"кормовой коэффициент"* обычно понимают отношение количества корма, внесенного в пруд, к общему приросту массы рыб за вычетом той части прироста, которая теоретически получена за счет естественной кормовой базы:

$$К_к = Е_к/(R - \Delta R_e),$$

где $Е_к$ – общее количество внесенного или съеденного комбикорма; R – общая продукция рыб; ΔR_e – прирост рыб, полученный за счет естественной пищи.

Прирост за счет естественной пищи обычно принимается приблизительно по зональным нормативам; возможно его экспериментальное определение, но для этого необходимы специальные научные исследования.

6.3.3. Оценка переваримости корма

Коэффициент (или показатель) видимой переваримости корма (Apparent digestibility coefficient, D_a). Это разность между количеством съеденных рыбами питательных веществ корма и веществ, выделенных с экскрементами, отнесенная к съеденному корму. Как было указано в главе 2, применение термина "видимая" обусловлено присутствием в экскрементах, помимо непереваренных остатков, пищеварительных соков, слущивающегося эпителия, ферментов, микрофлоры, эндогенных выделений. В совокупности они занижают реальную переваримость пищи.

Экспериментальные определения выполняются относительно легко при использовании метода инертных веществ. Сущность метода – введение в корм в определенных количествах непереваримых (инертных) веществ. По их концентрации в кормах и экскрементах судят о количестве питательных веществ, всосавшихся в кишечнике. Главное достоинство метода по сравнению с классическим «балансовым» – отсутствие необходимости полного учета съеденного корма и выделенных экскрементов. В качестве инертного вещества, или маркера, наиболее удобна окись хрома (Cr_2O_3). Она не участвует в процессах обмена, не задерживается в пищеварительном тракте, равномерно выделяется с экскрементами, отсутствует в воде, почве, воздухе, сравнительно легко и точно определяется при химическом анализе.

Расчеты ведут по формуле:

$$К_п = 100 - (П_э/П_к \cdot И_к/И_э) \cdot 100\%,$$

где $К_п$ – коэффициент видимой переваримости корма или отдельных питательных веществ, % съеденного; $П_к$ и $П_э$ – проценты питательного вещества в корме и экскрементах соответственно; $И_к$ и $И_э$ – проценты инертного вещества в корме и экскрементах соответственно.

Методика детально описана в наших руководствах [Щербина, 1969, 1971а, 1983], где подробно изложены техника приготовления кормов и введения окиси хрома, способы проведения (на примере карпа) экспериментов в аквариумах, бассейнах и прудах, особенности сбора экскрементов рыб, а также химической обработки материалов по комплексной схеме. Эта схема предполагает проведение большого числа анализов на одной относительно малой навеске и позволяет определять переваримость общей суммы питательных веществ корма (по сухому веществу), сырого протеина, аминокислот, общих липидов и жирных кислот, уг-

леводов с характеристикой доступности различных моносахаридов, переваримость лигнина, клетчатки и доступность макроэлементов, в частности фосфора.

Усвоенные питательные вещества. Представляют собой разность между количествами переваренных рыбами веществ и выделенных через жабры и почки газообразных и жидких продуктов. Эти выделения, в количественном отношении представляющие собой в основном продукты неполного обмена потребленного белка, методически сложно определяемы, поэтому для характеристики питательных свойств корма в основном используются показатели переваримости.

При комбинации обычных ростовых экспериментов с определением переваримости корма у рыб методом инертных веществ дополнительно можно получить ряд других важных характеристик, которые описаны ниже.

6.3.4. Эффективность использования веществ и энергии корма рыбами

Коэффициенты эффективности использования корма в организме рыб $Э_и$. Характеризуют ту часть питательных веществ и энергии, которая трансформируется в ткани животного (синонимы: *коэффициенты конверсии, трансформации, ретенции (отложения)*; по международной терминологии: *Efficiency of feed conversion, Feed conversion efficiency, Feed efficiency).* Эти показатели отражают отношение количества питательных веществ, синтезированных в организме рыб, к количеству потребленных. Их определения возможны, если были выполнены определения химического состава кормов и тела рыб в начале и конце наблюдений. Расчеты ведутся по следующим формулам:

$$Э_и = \frac{M_t П_t - M_0 П_0}{(M_t - M_0) \cdot З_и} \% \text{ или } Э_и = \frac{M_t П_t - M_0 П_0}{С_к} \%,$$

где M_0, M_t и $П_0$, $П_t$ – средняя масса рыб и содержание питательного вещества или энергии в их теле в начале и конце экспериментов, % или кДж/100 г; $З_и$ – затраты съеденного корма, отдельных питательных веществ или энергии на единицу прироста массы рыб, г или кДж; $С_к$ – количество корма, питательных веществ или энергии, съеденных одной рыбой, г.

Показатели эффективности использования веществ на рост рыб рассчитывают для сухого вещества, азотсодержащей части корма (сырого протеина), в ряде случаев – для незаменимых аминокислот и жирных кислот, минеральной части, а также энергии.

В ряде случаев *коэффициент эффективности белка (Protein Efficiency Ratio – PER по международной терминологии)* рассматривается как прирост массы рыб в граммах на 1 г потребленного белка: $К_{эб} = (M_t - M_0) / Е_б$, где $Е_б$ – количество внесенного или съеденного рыбами белка), что не следует путать с вышеприведенным толкованием коэффициентов конверсии (трансформации, использования).

Показатель *эффективности использования энергии на рост (по зоотехнической терминологии – энергия продукции прироста)*, характеризует чистую энергию, или нетто-энергию (*Net energy, NE).*

Показатели эффективности использования могут быть рассчитаны как для валовых, так и для переваримых веществ корма.

Следует обратить внимание, что *эффективность использования сухого вещества корма* определяется по двум показателям: *первый* – это *отношение прироста массы тела рыб к количеству потребленного сухого вещества,* т.е. показатель, обратный кормовому коэффициенту, означающий прибавку массы рыб в кг на 1 кг потребленного корма; *второй – это отношение прироста сухого вещества тела рыб к потребленному сухому веществу корма.* Необходимость расчетов и применения второго показателя обусловлена тем, что первый показатель отражает только биологическое действие корма, т.е. характеризует прирост массы при потреблении единицы корма. В то же время накопление влаги в организме маскирует действительный

процесс трансформации питательных веществ корма в соединения тканей и органов рыб, что устраняется вторым способом расчета.

В ряде случаев при рыбоводно-биологических испытаниях продукционный эффект оказывается неадекватным расчетным характеристикам. Возникает необходимость установить причину отклонений и выяснить, на какой стадии взаимодействия между кормом и организмом рыб происходят наибольшие потери, с чем связана та или иная степень конверсии питательных веществ и какова реакция рыб на качественный состав корма, выраженная в изменениях обмена веществ. Для этих случаев нами предложено [Щербина, 1975] на основе коэффициентов переваримости и ретенции провести расчеты той части переваренных веществ, которая выделена из организма рыб, $T_п$, %.

$$Т_п = К_п - Э_и, \%,$$

где $К_п$ – коэффициент переваримости.

Показатель $Т_п$ дает представление о количестве переваренных веществ (или энергии), которое выделяется из организма после использования в обменных процессах, иными словами, характеризует их суммарные траты на сам процесс переваривания пищи, поддерживающий обмен, движение и выделение. Его можно рассчитывать для тех веществ, по которым вели определения коэффициентов переваримости и конверсии.

6.3.5. Оценка влияния корма на обмен веществ у рыб и их физиологическое состояние

Химический статус рыб. Характеризуется на основании химических определений и выражается в процентном содержании в теле рыб воды, сухого вещества, сырого протеина, общих липидов, углеводов, минеральных элементов, а также энергии. Возможна и желательна детализация состава каждого компонента (в частности, аминокислот и жирных кислот, минеральных элементов и т.д.). В ряде случаев целесообразно определение отдельных гематологических показателей. К примеру, для красной крови – числа эритроцитов и концентрации гемоглобина, его форм, детализация форменных элементов белой крови, гематокрита, белковых фракций сыворотки крови, активности различных ферментов и т.д.

Накопление веществ и энергии в теле рыб. Данные об изменениях массы рыб и их химического состава в начале и конце испытаний дают возможность получить интегральную характеристику влияния качества корма на пластический и энергетический обмен у рыб [Щербина, 1975, 1983]. Показатель выражается в единицах массы, веществ и энергии, накопленных в организме рыб, по отношению к единице массы перед началом испытаний, г или кДж на 100 г первоначальной массы рыб и рассчитывается по формуле

$$Н = (М_t П_t - М_0 П_0)/М_0.$$

Концентрация органических и минеральных веществ в единице прироста рыб [Щербина, 1971, 1983].Характеризует сдвиги в соотношении воды, органических и минеральных веществ в приросте массы рыб. Этот показатель свидетельствует об изменениях в обмене веществ за время проведения (или отдельные периоды) экспериментов:

$$П_к = (М_t П_t - М_0 П_0)/(М_t - М_0) \cdot 10,$$

где $П_к$ – содержание питательного вещества, или энергии, г или кДж в 1 кг прироста рыб.

Коэффициент упитанности по Фультону. Отражает взаимосвязь между массой и длиной рыб. Рассчитывается по формуле

$$К_у = М_t/l^3,$$

где l – длина рыб от начала головы до конца чешуйного покрова, см; $М_t$ – масса рыб, г.

Морфофизиологические коэффициенты (индексы), по Шварцу [1960], отражают изменения в относительной массе отдельных органов и тканей (% к массе рыб), которые произошли под влиянием качественных особенностей корма. Наиболее информативны показатели индекса печени (гепатосоматический индекс) и индекса мышц.

Перечисленные показатели, определенные в полном объеме или выборочно, дают возможность установить основные характеристики питательных свойств комбикорма или отдельных видов сырья, определить их влияние на обмен веществ рыб и выявить тем самым причины их положительного или негативного действия. В результате возникает возможность для определения направлений и способов устранения отрицательных факторов в кормлении рыб или усиления положительных эффектов.

Глава 7

Особенности кормления основных видов разводимых рыб

7.1. Кормление карпа в условиях прудовых хозяйств

Карп представляет собой домашнюю форму дикого сазана. Во взрослом состоянии он относится к мирным всеядным рыбам с непрерывным типом питания, предпочитающим бентосные организмы. Выдвижной рот делает его способным отсасывать пищу со дна и в то же время позволяет хватать ее в толще воды.

Способность карпа, как и других карповых рыб, адаптироваться к разнообразным условиям питания, обеспечила ему в процессе эволюции возможность освоения различных экологических ниш, а также послужила биологическим обоснованием для применения растительных кормов при его выращивании в прудовых хозяйствах.

В условиях современных высокоинтенсивных прудовых хозяйств кормление рыб организовывается таким образом, чтобы в их рационах присутствовала естественная пища.

Наши исследования [Першина, 1984; Першина, Щербина, 1985; Щербина, Першина, 1988] позволили установить, что обеспечение молоди и годовиков карпа, имеющих свободный доступ к комбикорму, животными организмами даже в количестве 0,1% от массы повышает аппетит рыб, активизирует переваривание и усвоение комбикорма, снижая его затраты на прирост массы. В результате увеличиваются скорость роста рыб и накопление в их теле запасов белка и энергии. Поэтому успешное кормление карпа искусственными кормами возможно при условии обязательного дополнения животными организмами естественной кормовой базы прудов.

7.1.1. Краткие сведения о естественной кормовой базе прудов

Естественная пища прудового карпа состоит из животных, обитающих в грунте (зообентос), в толще воды (зоопланктон), а также организмов, заселяющих подводную растительность или погруженные в воду части высшей растительности (зарослевая фауна или перифитон), детрита, остатков высших растений и их семян.

Зообентос, как правило, представлен в основном личинками насекомых, развивающихся в водной среде и покидающих ее во взрослом состоянии. К ним относятся личинки комаров Chironomus, Glyptotendipes, Cricotopus, называемые в быту "мотылем". В число обычных представителей кормового бентоса входят черви (в частности, олигохеты Tubifex и Limnodrilus), моллюски (Limnaea, Pisidium), личинки стрекоз, взрослые формы и личинки жуков Dytiscus и т.д.

Бентосные организмы обитают в поверхностном слое грунта прудов толщиной 10–20 см. Днем они держатся на больших глубинах, чем ночью, зимой – глуб-

же, чем летом. Некоторые из них способны переживать зиму даже при спуске воды, проникая глубоко в грунт.

Зарослевая фауна поселяется на подводных частях стеблей и листьев высших растений – макрофитов (тростников, рогоза, осоки, рдестов, роголистников и т.д.), т.е. там, где образуется налет микроводорослей, и состоит из личинок комаров и других насекомых, моллюсков, губок, мшанок.

После вылупления из икры молодь карпа питается остатками желтка и мелкими формами планктонных организмов, таких как инфузории и коловратки. К питанию науплиями, личинками и мелкими формами зоопланктона таких видов, как хидорусы, цериодафнии, босмины, моины, молодь переходит, когда ее длина достигает 7 мм, а масса – 4–5 мг. При массе 5–10 мг и длине 8–11 мм в их пище наряду с ветвистоусыми и веслоногими рачками появляются планктонные формы личинок хирономид.

По мере роста молоди в ее питании начинают преобладать крупные формы ветвистоусых рачков (Cladocera), такие как дафнии, цериодафнии, моины, босмины и представители веслоногих (Copepoda), например, циклопы, а также малощетинковые черви.

Цикл развития водных животных зависит от температуры воды и может колебаться от нескольких дней до двух недель в зависимости от вида. Поэтому в течение вегетационного периода сменяется большое число поколений. При этом для прудов средней полосы характерна следующая сезонная смена видов ветвистоусых рачков: весной преимущественно развивается Moina, Scapholeberis и Simocephalus, а позже – Daphnia и Bosmina. Летом фауна ветвистоусых обедняется, и они могут исчезать из прудов.

Всеядный карп с удовольствием поедает пищевые организмы, которые имеются в прудах в изобилии: зоопланктон, бентос, перифитон и т.д. В пище подросшего и крупного карпа могут встречаться моллюски, личинки или мелкая молодь других видов рыб, если их численность в пруду велика. Во второй половине лета, когда обедняется и выедается зоопланктон и зообентос, карп охотно подбирает семена водных растений.

Поиск пищи карп ведет с помощью зрения, обоняния и осязания. Немаловажное значение имеет и вкус пищи. По привлекательности для молоди карпа (массой 10–15 г) различные компоненты естественной базы можно расположить в следующей последовательности: зообентос и зарослевая фауна; крупные формы зоопланктона; семена растений; личинки других видов рыб и подвижные насекомые с жестким внешним покровом.

Кроме того, среди различных видов пищи карп выбирает те, которые подходят ему по размерам и достаточно легко доступны. Последнее зависит от концентрации организмов в водоеме.

В интенсивно эксплуатируемых прудах крупные двухлетки карпов, помимо комбикорма, могут активно поедать разложившиеся остатки прошлогодней растительности, органические удобрения (например, перегной), детрит, экскременты рыб, оседающие на дно прудов. Это особенно проявляется в июле – сентябре, когда масса карпа достигает 400–500 г. Органические остатки и детрит (с населяющей их микрофлорой) служат в этот период основным источником витаминов и других биологически активных веществ, дефицит которых всегда ощущается в комбикормах, и особенно в зернах злаков.

Запасы естественной пищи в прудах претерпевают большие сезонные изменения в процессе выращивания рыб и имеют ряд особенностей, определяемых технологией эксплуатации прудов.

В прудах, заливаемых ранней весной, с момента их заполнения создаются благоприятные условия для развития естественной кормовой базы и питания рыб. Начинается интенсивное развитие зеленых водорослей, появляются первые генерации зоопланктона (в основном Moina). Ближе к поверхности грунта перемещаются перезимовавшие личинки насекомых и черви. Особенно быстрое развитие естественной кормовой базы наблюдается при температуре воды 14–15 °С и дальнейшем ее повышении. Обычно это происходит во второй половине мая –

начале июня, а в южных районах – в начале – середине мая. При низких температурах этот процесс замедляется и время развития отдельных генераций может составлять несколько недель. В этот период в питании карпов всех возрастных категорий преобладают животные организмы и потребление комбикорма минимально.

Запасы естественной пищи в этих прудах достигают максимальной биомассы в июне. В июле рыбы, активно питающиеся при повышенных температурах, интенсивно ее выедают. В это же время периодически происходит вылет личинок хирономид, что резко уменьшает количество животных организмов в прудах. Карпы активно начинают потреблять комбикорм. В августе запасы естественной пищи снижаются до минимума, и ее количество в рационах рыб сокращается до десятых и сотых долей процента. Основным естественным компонентом оказывается малопитательный детрит. В сентябре при похолодании и понижении поисковой активности рыб, запасы животной пищи начинают насколько увеличиваться и их положительное влияние на питание рыб снова возрастает.

В выростных прудах, которые заливаются поздней весной или в начале лета, что зависит от климатической зоны расположения хозяйств, ход развития естественной кормовой базы в общих чертах однотипен с описанным выше. Однако в связи с более высокой температурой воды все процессы ускоряются. Пик развития кормовых животных приходится на 10–15-й день после заполнения прудов водой. Запасы естественной пищи резко сокращаются к концу июля, а в середине августа, если не ведется систематическое удобрение прудов, может возникнуть ее резкий дефицит, вызывающий торможение роста рыб.

Для обеспечения в этих условиях интенсивного роста карпа широко применяются концентрированные комбикорма. Путем подбора рецептур по их питательным свойствам и регуляции количества задаваемого комбикорма удается достичь высокой рыбопродуктивности при хороших других экономических показателях.

Основой для подбора рецептур комбикормов, их нормирования и способов скармливания разновозрастным группам карпов на протяжении вегетационного периода могут служить сведения об интенсивности питания рыб, а также о соотношении в их рационах естественной пищи и комбикорма.

7.1.2. Характеристика интенсивности питания карпов в прудах

Суточный ритм питания. Несмотря на то, что карп относится к рыбам с непрерывным характером питания и способен питаться круглые сутки, в прудах, особенно при интенсивном кормлении комбикормами, его пищевая активность периодически изменяется в течение суток. Происходит регулярная смена аппетита, которая отражает изменения пищевых потребностей рыб. Она обусловлена в основном циклически повторяющимися колебаниями климатических условий, а также кислородного и температурного режимов воды при чередовании дня и ночи. Работами лаборатории физиологии питания рыб ВНИИПРХ было выяснено, что если при наличии достаточного количества пищи минимум и максимум питания с некоторым запозданием следуют за наименьшей и наибольшей концентрацией кислорода в воде, то абсолютное количество съедаемой пищи определяется ее температурой. Другими важнейшими по значению условиям являются наличие самой пищи и ее доступность для рыб. В высокоинтенсивных хозяйствах они обеспечиваются внесением комбикормов и естественной кормовой базой прудов, уровень развития которой, в свою очередь, определяется совокупным действием мелиоративных мероприятий, удобрением, вселением кормовых организмов.

Об интенсивности питания рыб судят по динамике их рационов в различные периоды выращивания. Под рационом понимают общее количество пищи (комбикорма, животных организмов, детрита, растений и т.д.), съеденное рыбами за определенный промежуток времени (часы, сутки, декаду, месяц, сезон). Величину рациона выражают в единицах массы (абсолютный рацион) или в процентах от массы рыб (относительный рацион).

Определение количества поедаемой рыбами пищи в естественных водоемах методически основано на восстановлении ее первоначальной массы по полупереваренным остаткам в пищеварительном тракте [Bajkov, 1935; Методическое пособие..., 1974]. Для определения суточных рационов у карпов, питающихся в прудах смесью комбикорма и естественной пищи, нами был разработан специальный способ. Он базируется на учете индексов наполнения различных частей кишечника рыб, определении в них соотношения естественных компонентов и комбикорма и последующей их реконструкции с помощью усредненных коэффициентов переваримости на последовательных участках пищеварительного тракта [Щербина, Рекубратский, Киселев, 1987]. Используя его, коллектив разработчиков собрал обширный материал о питании разновозрастных групп карпов в I–VI зонах рыбоводства при различных технологиях выращивания, приемах кормления и рецептурах комбикормов, который послужил основой настоящего раздела.

Согласно данным А.Ю. Киселева [1985], *суточный ритм* питания сеголеток в начальный период выращивания, когда кислородный режим прудов обычно бывает нормальным, естественная кормовая база хорошо развита и комбикорма вносят в небольших количествах, бывает относительно равномерным.

По мере выедания подросшей рыбой естественной пищи и повышения доли комбикорма в рационах суточная ритмика питания начинает в определенной степени зависеть от времени поступления комбикорма и частоты его раздачи (рис. 10). Свое влияние начинает оказывать и кислородный режим, колебания которого определяются фотосинтетической деятельностью фитопланктона и накапливающейся органикой. Как правило, максимальная наполненность кишечников рыб наблюдается через 3–4 ч после первого кормления, далее происходит небольшой спад и при вторичном внесении отмечается новый подъем, но уже меньший по величине. Ночью и к утру наполненность кишечников резко уменьшается. В дневные часы в кишечниках рыб преобладает комбикорм, в ночные и утренние – естественная пища.

При значительном увеличении массы рыб и возрастании количества вносимого в пруды комбикорма (как следствие, и его доли в рационе), что обычно наблюдается в последней декаде июля и в августе, суточная ритмика питания рыб становится еще более зависимой от кислородного режима. Концентрация кислорода изменяется в широком диапазоне: от перенасыщения в дневные часы до дефицита в утренние. Это и определяет аппетит рыб в различное время суток (см. рис 10).

На рис. 10 видно, что от частоты раздачи комбикорма зависят абсолютные значения максимума и минимума насыщенности. При одноразовом кормлении они наиболее резко выражены и большие по величине. При трехразовом – наблюдается сглаживание пиков, они снижаются на 30–40%. Таким способом организм карпа приспосабливается к изменяющимся условиям питания.

Следует обратить внимание, что при внесении одной и той же порции корма за один раз активное поедание его продолжается в течение 2–4 ч, два раза – 6–8 ч, три раза – 10–16 ч. По истечении этого времени доступность для рыб несъеденной части комбикорма снижается. Это происходит из-за его рассеивания по пруду, распыления в процессе питания рыб, волнового перемешивания и заиливания.

В осенний период (сентябрь – октябрь) при снижении температуры и уменьшении количества вносимого комбикорма насыщение воды кислородом повышается и его суточные колебания менее выражены. Соответственно ритм питания рыб становится относительно равномерным. Кишечники почти полностью заполнены комбикормом.

У двухлеток карпа [Рекубратский и др., 1982] суточная ритмика питания аналогична, но несколько сдвинута во времени. Период относительной равномерности питания обычно приходится на апрель – конец июня; период сильной зависимости от кислородного режима, частоты и количества вносимого комбикорма охватывает июль – август, в сентябре – октябре эта зависимость резко ослабевает.

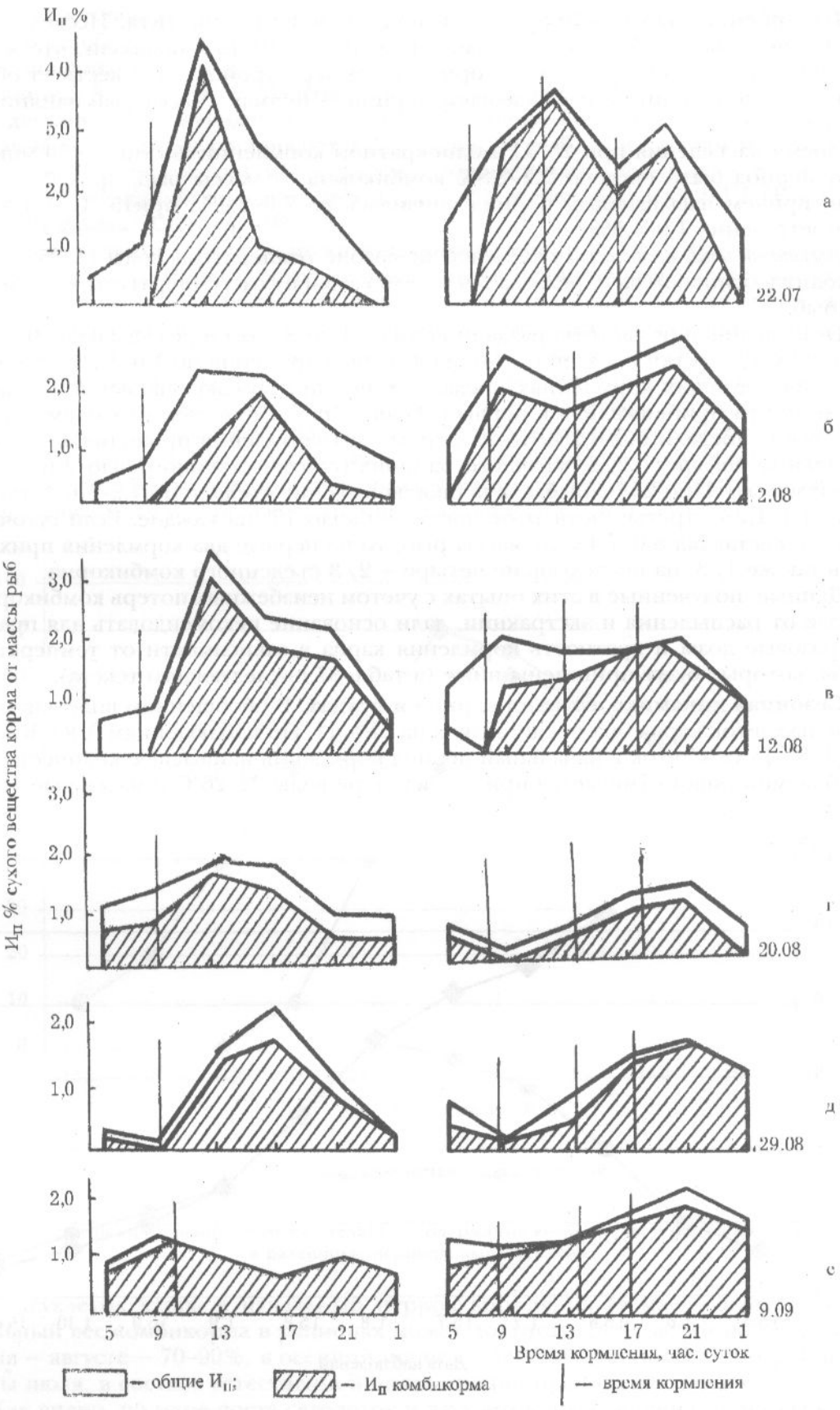


Рис. 10. Сезонная динамика суточной ритмики питания сеголеток карпа, выращиваемых в прудах при одно- и трехкратном режиме кормления (рыбплемхоз "Якоть", Московская обл., 1982). $И_п$ – индексы потребления. Среднесуточная температура, °С:
а – 23,2; *б* – 20,4; *в* – 18,4; *г* – 18,2; *д* – 18,8; *е* – 18,9

Насыщение рыб комбикормом и восстановление аппетита. Исследования А.Ю. Киселева [1985] на сеголетках карпа массой 10–13 г показали, что между временем насыщения рыб комбикормом и температурой воды существует обратная связь, а величиной насыщающей порции – прямая. Масса рыб влияния не оказала.

Время насыщения при 25 °С и однократном кормлении достигало 50 мин. За этот период было съедено 2,4–2,8% комбикорма от массы рыб; при 20 °С – 60 мин, причем насыщающая порция снизилась до 2,0–2,4%, при15 °С – 1,5 ч и соответственно 1,0–1,5%.

Восстановление аппетита у карпов в диапазоне температуры воды 15–25 °С происходит в основном за 2, реже за 3 ч и слабо зависит от температуры воды и массы рыб.

При увеличении частоты раздачи корма с 1 до 8 раз (через каждые 2,0–2,5 ч) при 20 °С сеголетки съедали его за первые два кормления по 1,0–1,2% от массы. При последующих кормлениях поедаемые порции то сокращались в 2 раза, то вновь почти приближались к первым. Если за сутки при шестиразовом кормлении рыбы поедали 6,0–6,2%, то на первые два кормления приходилось 1/3, на остальные четыре – 2/3 суточного рациона (соответственно около 2 и 4 % от своей массы). При 25 °С рыбы за первое кормление съедали по 1,5–1,6%, второе – по 1,1–1,2%, третье, четвертое, пятое – около 1% на каждое. Если суточный рацион составлял 8,0–7,4% от массы рыб, то на первые два кормления приходилась так же 1/3, на последующие четыре – 2/3 съеденного комбикорма.

Данные, полученные в этих опытах с учетом неизбежных потерь комбикормов в воде от распыления и экстракции, дали основание рекомендовать для практики разовые дозы и кратность кормления карпа в зависимости от температуры воды, которые будут приведены ниже (в табл. 87 последующего текста).

Сезонная динамика питания карпов в прудах. В обобщенном виде для молоди и двухлеток карпа она представлена на рис. 11. По наблюдениям А.Ю. Киселева [1985], у сеголеток в начальный период кормления наивысшее количество потребляемой пищи отмечается при температуре воды 22–26°С и массе рыб 1–5 г.

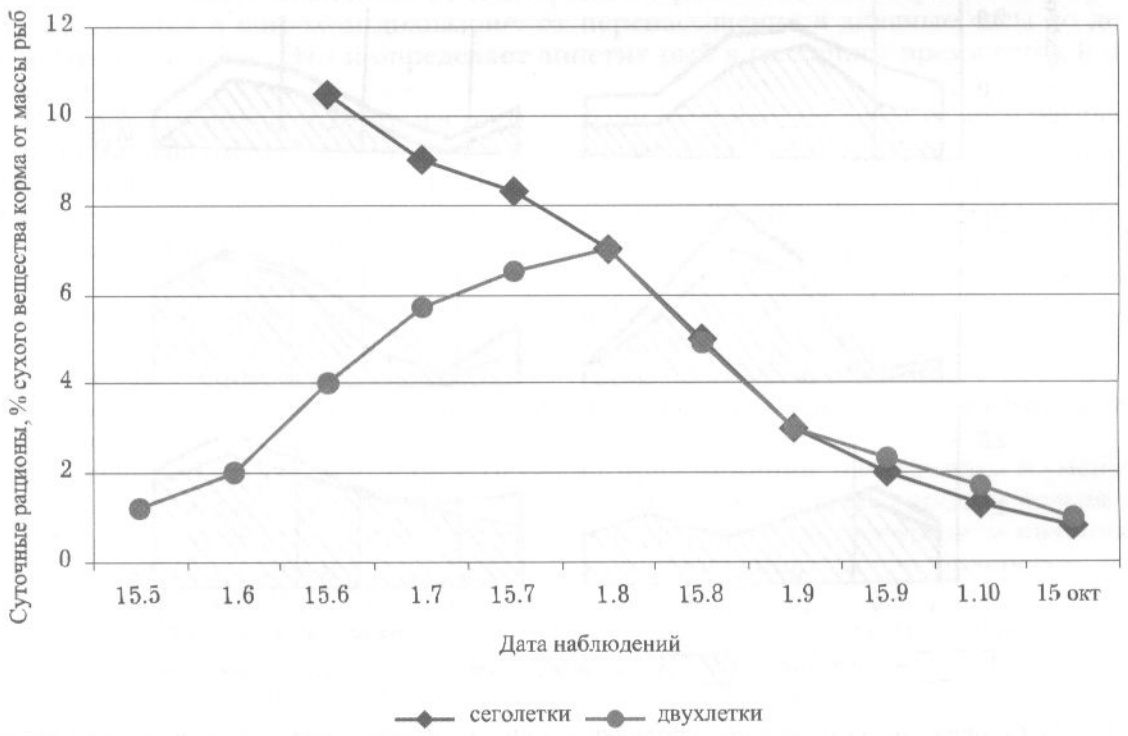


Рис. 11. Сезонная динамика интенсивности питания карпов в прудах

В этих случаях суточный рацион, представленный естественной пищей и комбикормом, обычно составляет 10–12% от массы. По мере роста рыб рационы постепенно снижаются. В июне – первой половине июля они составляют 8–6%, во второй – 5–3%, в августе – сентябре – 4–2% и менее.

У двухлеток карпа тенденция динамики несколько иная: в весенний период после зимовки рационы составляют 1–3% от массы рыб, далее в первой половине лета (конце июня – июле) они вырастают до максимума – 6, иногда – 8% и затем снижаются во второй половине августа до 4–2%, в сентябре – до 2–1% [Рекубратский, Щербина, Киселев, 1985].

Относительное содержание комбикорма в рационах. Сезонная динамика соотношения комбикорма и естественной пищи в рационах имеет устойчивый характер в различных условиях питания и кормления рыб. На рис. 12 видно, что у сеголеток в начале выращивания (от одной до трех декад) доля естественной пищи составляет 80–60%, доля комбикорма – от 20 до 40%. В последующие четыре-пять декад (обычно во второй половине июля и августе) при выедании естественной пищи количество комбикорма возрастает до 60–80%, а в осенний период вновь снижается до 50–60%. Изменения происходят и в составе естественной пищи. Если вначале преобладают животные организмы, то со второй половины июля заметное место в рационах начинает занимать детрит и только в сентябре вновь появляются в небольших количествах зоопланктон и бентос.

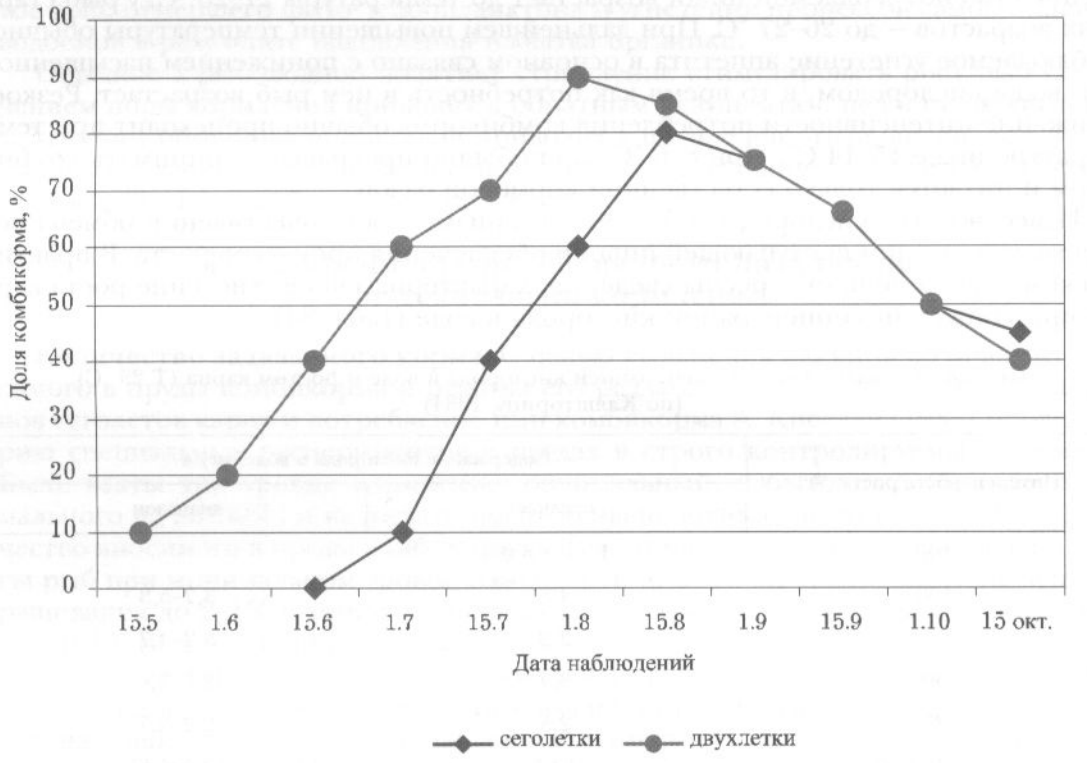


Рис. 12. Усредненные значения относительного содержания комбикорма в рационах карпов (%) в различные периоды выращивания

У двухлеток карпа в начальный период кормления (в мае – начале июня) удельный вес комбикорма в рационах может достигать 50%, во второй половине июня – августе – 70–90%, в осенний период – 60–70%. Начиная со второй половины июля, в составе естественной пищи прочно преобладает детрит.

Как видно, по мере роста сеголеток и двухлеток и увеличения их массы к концу вегетационного периода относительное количество потребляемой ими пищи уменьшается. Это обусловлено снижением интенсивности обмена у подросших рыб, которое сопровождается понижением скорости роста. В свою очередь, это

требует относительно меньшей обеспеченности организма энергией и питательными веществами.

На растущую в прудах молодь оказывает воздействие и ряд других, абиотических, факторов, способных изменять интенсивность обменных процессов в организме. К ним прежде всего относится температура воды. Ее повышение или понижение вызывает усиление или торможение обмена веществ, аппетита и роста рыб. Эту связь в математической форме выразил А.Ю. Киселев [1985]. Для сеголеток карпа массой до 5 г эта связь имеет следующий вид: $R=0{,}02 \cdot 10^{-2} \cdot T^{2{,}66} \cdot M^{-0{,}16}$; для сеголеток массой более 5 г $R=2{,}19 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1{,}92} \cdot M^{-0{,}14}$; для двухлеток $R=1{,}17 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1{,}75} \cdot M^{0{,}07}$, где R – суточный рацион, % сухого вещества пищи от массы рыб; T – температура, °C; M – средняя масса рыб, г.

С помощью дисперсионного анализа А.Ю. Киселеву [1985] удалось показать, что при совместном воздействии влияние массы и температуры воды на величину рационов молоди карпа резко различается. Так, сила влияния температуры составляет 80% от совокупного действия, а массы – лишь около 6%.

В табл. 12 и 13 Приложения содержатся усредненные данные о суточных рационах сеголеток массой 9–35 г в диапазоне изменения температур 10–30 °C и двухлеток карпа (диапазоны масс 25–500 г, температур – 10–28 °C).

Следует отметить, что повышение температуры вызывает увеличение интенсивности питания рыб до определенного предела, выше которого наступает угнетение. У молоди карпов в прудах в условиях нормального кислородного режима количество потребляемой пищи возрастает до температуры 27–28 °C, у рыб старших возрастов – до 26–27 °C. При дальнейшем повышении температуры обычно наблюдаемое угнетение аппетита в основном связано с понижением насыщенности воды кислородом, в то время как потребность в нем рыб возрастает. Резкое снижение интенсивности потребления комбикорма обычно происходит при температуре ниже 15–14 C°. При 8–6 °C карп обычно прекращает принимать комбикорм и питается только естественной кормовой базой.

Известно, что кислород необходим организму для осуществления обмена веществ, утилизации поступающей пищи и обеспечения процессов роста. В практическом плане очень интересны сведения, характеризующие угнетение роста карпа при снижении концентрации кислорода в воде (табл. 84).

Таблица 84. Связь между концентрацией кислорода в воде и ростом карпа (T 25 °C) (по Кляшторину, 1984)

Интенсивность роста, %	Содержание кислорода в воде, мг/л	
	среднее	диапазон
100	Более 6,0	
100	4,8	3,7–5,8
75	3,9	3,2–4,7
50	3,2	2,7–3,5
25	2,5	2,2–2,7
0	1,65	1,65–1,65

По данным Е. Хьюсмана [Huisman, 1984; цит. по Щербине, Киселеву, Касаткиной, 1992], потребление кислорода карпами массой 50 г при температуре 23°C резко усиливается при увеличении рациона только до 5–6% от массы рыб в день, а скорость роста возрастает до размера рациона 5%. На этом основании сделан вывод, что пища эффективно используется в организме рыб в случае, если ее поступление в организм не превышает 5% от его массы. Далее энергия и пластический материал используются только на переработку поступающих избытков пищи.

Оказывая влияние на интенсивность питания рыб, кислородный режим определяет суточный ритм их питания. По нашим данным, согласующимся со сведе-

ниями других авторов и наблюдениями рыбоводов-практиков, в период применения комбикормов количество потребляемой карпами пищи имеет прямую связь с динамикой содержания кислорода в воде. Максимальная активность питания карпа наблюдается обычно в 11–16 ч, т.е. в период максимального повышения концентрации кислорода в воде в результате фотосинтетической деятельности фитопланктона. Минимальная – с 21 до 8 ч утра, когда резко замедляется или прекращается фотосинтез, а кислород интенсивно расходуется микроорганизмами, разлагающими органические осадки, а также на дыхание всех гидробионтов.

Математическая обработка имеющихся экспериментальных данных и результатов полевых наблюдений, предпринятая А.Ю. Киселевым [1985], позволила установить, что в условиях прудов на интенсивность питания рыб основное влияние оказывают три фактора в следующей последовательности: содержание кислорода в воде, ее температура и масса рыб. При этом из суммы всего комплекса действующих факторов сила влияния кислорода составляет 44% (при $P<0,01$), температуры – 26% (при $P<0,01$), массы – 6% (при $P<0,01$), совместное их влияние – 88%.

В условиях прудового рыбоводства, при существующем дефиците воды и отсутствии в водоемах проточности, кислородный режим во многом определяется рациональностью применяемой технологии кормления. Дефицит кислорода в середине лета обычно возникает при внесении в пруд более 100–120 кг комбикорма на 1 га площади из-за накопления не съеденных рыбами его остатков, экскрементов рыб, отмершего фито- и зоопланктона и угнетения процессов самоочищения водоемов в результате накопления избытка органики.

Обычное в рыбоводной практике стремление стимулировать рост рыб увеличением норм кормления приводит к обратным результатам: недостаток кислорода угнетает обменные процессы и приводит к потере аппетита, активность питания рыб падает еще более, их физиологическое состояние ухудшается, а продуктивное действие комбикормов снижается.

7.1.3. Зависимость интенсивности питания рыб от технологии кормления

Количество задаваемого корма. С целью выяснения влияния количества вносимого в пруды комбикорма и режима его раздачи на величину суточных рационов сеголеток карпа и потребление ими комбикорма А. Киселев [1985] провел серию специальных экспериментов в прудах в строго контролируемых условиях. Были взяты три уровня кормления: оптимальный, избыточный (больше оптимального на 50–30%) и недостаточный (меньше оптимального на 40–50%). Количество вносимого в пруды комбикорма в зависимости от температуры воды и массы рыб при минимальном уровне изменялось от 8–6% от массы рыб в начале выращивания до 2–1% в конце; при оптимальном уровне оно составляло соответственно 12–10 и 3–2%, при максимальном – 17–15 и 5–3%.

Анализ результатов привел к неожиданным выводам. Ни количество вносимого в пруды комбикорма, ни частота кормления не оказали существенного влияния на общие суточные рационы, т.е. на суммарное потребление комбикорма и естественной пищи. Наиболее высокие суточные рационы (8–12% абсолютно сухого вещества корма от массы рыб) наблюдались у сеголеток массой 3–5 г в июле при температуре воды 23–24 °С. В августе они не превышали 6%, в сентябре колебались около 0,8–2,5% (масса рыб 25–42 г, температура воды 12–14 °С). В среднем за сезон различия между вариантами оказались несущественными. *В вариантах с максимальным уровнем кормления*, когда комбикорма находились на кормовых местах круглосуточно *вне зависимости от режима кормления, стабильное ухудшение кислородного режима отмечалось через 20–28 дней.*

Внесение избыточного количества комбикорма в пруды не привело к адекватному увеличению его потребления, а недостаточного – несколько ограничило. Увеличение кратности раздачи способствовало лучшему поеданию комбикорма, но лишь в вариантах минимальных и оптимальных норм в первой половине периода выращивания.

Оказалось, что увеличение потребления комбикорма при повышении норм кормления стимулирует рост рыб только в определенных пределах. Выше них скорость роста либо не изменялась, либо наблюдалось ее снижение. Если учесть, что определенная часть комбикорма при современном способе гранулирования неизбежно экстрагируется и механически рассеивается в воде пруда, а также теряется в процессе самого акта питания рыб, то в начальный период кормления сеголеток (июнь – июль) верхняя граница норм комбикорма не должна превышать 12–10% от массы рыб, в основной период (июль – август) – 7–5%, в осенний – 3–1%.

По данным Н. Рекубратского [1982], для двухлеток наилучший продуктивный эффект в апреле – мае при подъеме температуры от 10 до 20°С оказывают нормы кормления в пределах 1–4%, в июне – июле при температуре 20–26 °С – 4–7%, в августе при температуре 18–22°С – 3–5%, при температуре 14–16°С – 2,0–2,5%, в сентябре и октябре – 2–1% от массы рыб.

И. Колобова [1996], установила, что суточные рационы сеголеток растительноядных рыб при выращивании совместно с карпом в условиях изменяющейся температуры воды от 13 до 27 °С существенно колебались. У белого амура они находились в пределах 5–22% сухого вещества пищи от массы рыб, у пестрого толстолобика – 3–16%, у белого толстолобика – 5–22%. На долю комбикорма в рационе белого амура приходилось 20–30% , в то время как водная растительность составляла около 50%, детрит – 20%, зоопланктон – около 10%. Толстолобики комбикормом не питались; основу их рациона (90–95%) составлял детрит.

Суточные рационы всех видов поликультуры оказались независимыми от количества вносимого в пруды комбикорма, его агрегатного состояния и способов раздачи.

7.1.4. Организация кормления карпов комбикормами

Общие положения. Обязательным условием успешного применения комбикормов в кормлении карпов является полное соблюдение рыбоводно-мелиоративных и интенсификационных мероприятий, а также технологических нормативов, предусмотренных для каждой зоны рыбоводства.

Пруды, предназначенные для выращивания карпов как в моно- так и в поликультуре, должны быть хорошо осушаемыми, умеренно зарастающими и отвечать общим технологическим требованиям. Регулярная мелиорация ложа прудов в осенний и весенний периоды способствует разложению органики, накапливающейся за период кормления. Ее следует проводить ежегодно. Внесение извести способствует дезинфекции грунта и минерализации органических веществ.

Для обеспечения высокой эффективности применения концентрированных комбикормов в прудах необходимо стимулировать развитие естественной кормовой базы за счет регулярного внесения минеральных и органических удобрений, интродукции планктонных и донных ракообразных [Богатова и др., 1986], а также обязательного соблюдения всех интенсификационных мероприятий.

Корма следует вносить в пруд в строго установленном порядке, чтобы на определенные кормовые места они задавались в одно и то же время. При таких условиях у рыб быстро вырабатывается условный рефлекс на место и время приема пищи.

На каждую кормовую точку корма следует задавать порционно и кучно не более 30–40 кг для сеголеток и до 60 кг для двухлеток в период внесения максимальных доз. Концентрация кормов на определенных местах делает их более доступными для карпа. Последнее способствует более быстрому и полному поеданию корма, а также сокращает его потери от механического рассевания по грунту и в воде и последующего заиливания.

Неплохой эффект в высоко интенсифицированных прудах в период максимального кормления дает раздача гранулированных комбикормов прерывистой, но четко обозначенной кормовой дорожкой.

Раздача кормов непрерывной нерегулируемой дорожкой не рекомендуется, так как приводит к загрязнению ложа прудов, а также потерям продукционных

свойств кормов и возрастанию их затрат на прирост рыб на 1/4–1/3 при одновременном снижении количества получаемой продукции.

При плохом качестве гранулированных комбикормов и наличии в них более 40% крошки гранулы следует отсеивать или задавать их смесь, замешивая на воде. Внесение в пруд сухих рассыпных комбикормов приводит к увеличению затрат корма на прирост карпа на 20–30% по сравнению с гранулированными, ухудшению гидрохимического и санитарного режимов прудов, возникновению заболеваний у рыб и, как следствие, снижению продуктивности.

Если в отдельных кормовых точках (местах раздачи корма) корма оказываются несъеденными, в следующее кормление их пропускают или резко уменьшают дозу. В случае закисания и появления запаха место известкуют и кормовую точку передвигают.

Кормление сеголеток карпа осенью следует продолжать до начала спуска прудов во избежание преждевременного истощения рыб.

Нормирование комбикорма. При нормировании комбикорма наиболее эффективной является разработанная нами [Щербина, Киселев, 1985] физиологически обоснованная система, построенная на зависимости суточных рационов карпов, их массы, температуры воды и сезонных изменений естественной кормовой базы прудов. При расчетах норм учтены неизбежные потери комбикорма, обусловленные его механическим рассеиванием и экстракцией при погружении в воду, а также распылением в процессе питания карпа. Кроме того, система предусматривает корректирование норм в зависимости от газового режима прудов, качества и агрегатного состояния комбикорма, уровня развития кормовой базы в прудах(см. табл. 90 и 91 последующего текста, где приведены нормы для ряда наиболее распространенных комбикормов).

При выращивании карпа совместно с растительноядными рыбами комбикорм рассчитывают только для карпа. Продукция растительноядных рыб в количестве 7–16 ц/га может быть обеспечена при регулярном удобрении прудов за счет естественной кормовой базы и детрита, образующегося из отмершего фито- и зоопланктона, распыленного комбикорма и экскрементов рыб при их микробиологическом разложении, а также водной растительности.

Внесение дополнительных количеств комбикормов в расчете на растительноядных рыб не целесообразно, так как, помимо увеличения их затрат на прирост карпа, это приводит к снижению мелиоративного эффекта от растительноядных рыб и вызывает ухудшение гидрохимического режима прудов, что в конечном итоге приводит к торможению роста карпов.

При расчетах норм прежде всего определяют общую массу питающихся рыб. Для этого по результатам контрольного облова устанавливают среднюю массу рыб перед началом кормления. Ее изменения на последующую декаду планируют ориентировочно одним из следующих способов: 1) по средним величинам фактического суточного прироста в данном пруду за 4–5 последних лет; 2) по данным табл. 85; 3) по тактическому рыбоводному планшету ВНИИПРХ [Баранов и др., 1979]. После контрольного облова массу рыб корректируют и вновь планируют на следующую декаду.

Число питающихся рыб определяют, исходя из количества рыб, посаженных в пруд, за вычетом нормативного и учтенного отхода к началу каждой декады кормления. Согласно "Рыбоводно-биологическим нормам"[Нормы и рационы кормления..., 1985], выживаемость сеголеток карпа, выращенных из подрощенных личинок, принимается равной 65%. Отход к началу кормления 20%, далее он распределяется равномерно по месяцам, если не наблюдается массовой гибели рыб по каким-либо причинам.

Нормативная выживаемость двухлеток карпа за сезон в одамбированных прудах площадью до 50 га обычно планируется в размере 85%, при площади 51–100 га – 80%, 101–150 га – 75%, свыше 150 га – 65%. Условно принято, что отход двухлеток к началу кормления составляет 40% от планируемого, через 1 месяц – 50%, через 2 месяца – 60%, остальной – непосредственно в период осеннего облова или перед ним.

Таблица 85. Примерный среднесуточный прирост и масса сеголеток и двухлеток карпа при выращивании в условиях уплотненных посадок и кормления комбикормами, г

Месяцы, декады	Зоны рыбоводства											
	I–III				IV–V				VI			
	Сеголетки		Двухлетки		Сеголетки		Двухлетки		Сеголетки		Двухлетки	
	прирост	масса в начале декады	прирост	масса в начале декады	прирост	масса в начале декады	прирост	масса в начале декады	прирост	масса в начале декады	прирост	масса в начале декады
Май												
I	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
II	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	30
III	–	–	1	25	–	–	1	30	–	–	2	40
Июнь												
I	–	–	3	35	–	–	3	40	–	–	3	60
II	–	–	3	65	0,1	–	4	70	0,1	–	4	90
III	0,1	–	3	95	0,1	1	4	110	0,2	1	5	130
Июль												
I	0,2	1	4	125	0,2	2	5	150	0,3	3	5	180
II	0,3	3	5	165	0,3	4	5	200	0,4	6	6	230
III	0,4	6	6	205	0,5	7	6	250	0,5	10	6	290
Август												
I	0,5	10	5	265	0,5	12	5	310	0,5	15	5	350
II	0,5	15	5	315	0,5	17	5	360	0,5	20	5	400
III	0,4	20	3	365	0,3	22	3	410	0,3	25	3	450
Сентябрь												
I	0,1	24	1	395	0,1	25	1	440	0,1	28	1	480
II	–	–	–	–	0,1	26	1	450	0,1	29	1	490
III	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Всего за сезон	–	25	–	400	–	27	–	460	–	30	–	500

Температура воды. Повышение температуры воды в прудах до 26 °С вызывает у карпа повышение интенсивности обменных процессов, увеличение аппетита и темпа роста. Дальнейшее повышение температуры, особенно свыше 28–30 °С, вызывает угнетение физиологического состояния и аппетита у рыб, что обусловлено в основном ухудшением гидрохимического режима прудов. При температурах ниже 16–14 °С потребление комбикорма резко сокращается, при 8–6 °С карп переходит на питание естественной пищей.

Кислородный режим. Для осуществления правильного нормирования и установления режима кормления необходимы систематические наблюдения за концентрацией кислорода в воде. Измерения целесообразно проводить в утренние часы на кормовых местах.

Критическими периодами по содержанию кислорода в прудах считаются июль и август, т.е. основной период кормления. Они характеризуется устойчиво высокими температурами и накоплением значительных количеств органики, резкими изменениями концентрации кислорода днем и ночью, его дефицитом в утренние часы и отсутствием аппетита у рыб в это время. Поэтому первую раздачу комбикорма следует проводить не ранее чем через 2–3 ч после восхода солнца (при содержании кислорода не ниже 2 мг/л). В случае устойчивого снижения концентрации кислорода в воде в утренние часы до 2 мг/л первое кормление рекомендуется проводить в 10–11 ч. При напряженном кислородном режиме и опасности заморов не следует вносить комбикорм в пруды перед заходом солнца.

Состояние кормовой базы прудов. В соответствии с естественной динамикой развития и выедания рыбами кормовой базы прудов период подкормки рыб комбикормами делится на неравные промежутки (начальный, основной, осенний), различающиеся длительностью и качественными особенностями состава компонентов естественной пищи.

Начальный период кормления двухлеток продолжается обычно две – четыре декады (две – в IV–VI зонах, три-четыре – в I–III) и приходится в зависимости от температурных условий зоны на середину мая – июнь. Он характеризуется наиболее высоким содержанием в рационах рыб животной пищи (зоопланктона или зообентоса), которая в основном и обеспечивает интенсивный рост рыб.

В основной период (конец июня – август) в питании рыб до 80–90% может занимать комбикорм. Остальное количество приходится на детрит, растительные остатки и животные организмы. В этот, наиболее благоприятный по температуре период у карпа идет быстрое накопление массы и основное влияние на его рост оказывает питательность комбикорма и технология его применения.

Осенний заключительный период (три–пять декад сентября–октября) характеризуется активным потреблением рыбами комбикорма и естественной пищи, в которой преобладает малопитательный детрит. В это время на фоне снижения и резких суточных колебаний температуры воды у рыб происходят существенные изменения в обмене веществ. Они выражаются в сокращении синтеза белка, усиленном накоплении жира, уменьшении в организме влаги и замедлении прироста массы.

Как было указано выше, расчет норм комбикорма для молоди и товарного карпа можно вести по табл. 12 и 13 Приложения или по табл. 90 и 91 для определенных рецептур комбикормов и периодов.

Коррекция запланированных норм. Уточнение распланированных на декаду норм кормления ведут ежедневно в соответствии с фактической температурой воды, концентрацией кислорода, поедаемостью комбикормов и качеством их изготовления.

Поправки на качество изготовления комбикорма. Табличные нормы рассчитаны на стандартный гранулированный комбикорм (крошимость 8%). Если поступившие в хозяйство комбикорма имеют бóльшую долю крошки, табличные значения умножают на поправочные коэффициенты, учитывающие увеличение потерь кормов при попадании в воду: 1,05 – при наличии 20–25% крошки; 1,10 – при наличии 50% крошки; 1,20 – при рассыпном комбикорме.

При водостойкости гранул, равной 30 мин и более табличные нормы необходимо снизить на 10% или умножить на коэффициент 0,9.

Потери комбикормов при погружении в воду можно определять непосредственно в хозяйствах по нашим методикам [Щербина, Киселев, 1985].

Поправки на кислородный режим. Табличный нормы рассчитаны на нормальное содержание кислорода в воде (в среднем не менее 6–7 мг/л в сутки). При снижении среднесуточного содержания кислорода до 3–4 мг/л (1,5–2,0 мг/л утром) норму кормления следует уменьшить на 40% (поправочный коэффициент 0,6). При концентрации кислорода утром менее 1 мг/л норму комбикорма следует снизить на 65% (поправочный коэффициент 0,35). В случае предзаморного состояния кормление следует прекратить до наступления благоприятного кислородного режима.

Предельное количество вносимого комбикорма. Для непроточных не аэрируемых прудов со средней глубиной 1,0–1,2 м суточная нагрузка комбикорма должна ограничиваться 100 кг/га, для проточных прудов при глубине 1,3 м и более – 120–140 кг/га. В соответствии с этим планируется плотность посадки карпа при зарыблении.

При достижении биомассы карпа 25–30 ц/га и более табличные нормы для основного периода кормления следует сократить на 30%,но обязательно сохранить рекомендуемую частоту внесения комбикорма в пруды соответствующую температуре воды.

В случае массовых заболеваний рыб количество вносимых комбикормов лучше сократить или прекратить кормление полностью. У больных рыб резко сни-

жается интенсивность питания, а несъеденный комбикорм способствует ухудшению гидрохимического режима в пруду и усиливает тяжесть заболевания.

В качестве профилактического мероприятия, предупреждающего заморы, при резком и устойчивом снижении содержания кислорода в воде обычно рекомендуется внесение хлорной извести (из расчета 6 кг/га в выростные пруды и 1–2 кг/га – в нагульные) одновременно или 3 раза через день. Это оказывает положительное влияние на гидрохимический режим и создает благоприятные условия для кормления. Отрицательный эффект известкования - гибель зоопланктона и, как следствие, снижение прироста рыб и повышение затрат комбикорма.

Применение указанных норм кормления позволит получить нормативную продукцию карпа во всех рыбоводных зонах. Превышение норм кормления в 1,5–2,0 раза, особенно в начальный период кормления, уже через 25–30 сут. приводит к устойчивому снижению концентрации кислорода в воде и последующему возникновению предзаморной ситуации. Ухудшение гидрохимического режима тормозит рост рыб и усвоение съеденного комбикорма, приводит к возникновению жаберных заболеваний.

Плановое распределение требуемых комбикормов в течение сезона (что необходимо для расчета общего количества корма, требуемого хозяйствам), может проводиться в соответствии с данными табл. 86.

Таблица 86. Распределение комбикорма по месяцам выращивания сеголеток и двухлеток карпа в прудовых хозяйствах I–VI зон рыбоводства, % от общего количества

Возраст рыб	Зона	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	За сезон
Сеголетки	I–III	–	2	20	60	18	100
	IV–V	–	3	24	54	19	100
	VI	–	4	26	50	20	100
Двухлетки	I–III	1	12	33	45	9	100
	IV–V	2	15	30	40	13	100
	VI	2	17	32	35	14	100

Частота кормления. Число кормлений и размеры разовой порции комбикорма оказывают существенное влияние на конечные результаты кормления.

Частота кормления определяется величиной суточной нормы, насыщающей порцией комбикорма и временем восстановления аппетита.

В зависимости от температуры рекомендуются дозы разовых порций и минимальная кратность раздачи комбикорма, указанные в табл. 87.

Таблица 87. Дозы разовых порций и кратность раздачи комбикорма сеголеткам и двухлеткам

Показатели	Температура воды, °С		
	13–15	18–21	23–25
Сеголетки			
Разовая порция, % от массы	2–2,4	3–3,4	3,6–4,2
Минимальная кратность внесения в сутки	1	1–2	2–4
Двухлетки			
Разовая порция, % от массы	1,2–2,4	2–2,4	2–2,4
Минимальная кратность внесения в сутки	1	1–2	2–3

Одноразовое кормление при температуре воды выше 20 °С не допускается.

В основной период кормления (июль–август) вне зависимости от температуры воды комбикорм следует раздавать не менее 2 раз в день.

Первую порцию, равную половине количества, внесенного в пруд накануне, задают утром в 7–9 ч, вторую и последующие – после 13 ч, когда измерена температура воды, проверена поедаемость и произведены расчеты.

При многократном внесении комбикорма очередное кормление надо проводить не ранее чем через 3–4 ч, подождав, пока рыба подберет остатки первой порции корма.

В случае внесения за один раз порции комбикорма, составляющей более 3–4% от массы рыб, резко возрастают потери комбикорма от рассеивания по пруду и вымывания питательных веществ. В результате этого корма теряют свои питательные свойства и превращаются в трудноминерализуемые удобрения, требующие для своего разложения большого количества кислорода в течение длительного времени.

Если каждая порция комбикорма при трехкратном кормлении поедается быстрее, чем за 2 ч, это может служить признаком недостаточного обеспечения рыб комбикормом. Причинами могут быть неправильное определение количества питающихся рыб (например, его занижении при зарыблении выростных прудов неподрощенными личинками) или слабое развитие естественной кормовой базы. В первом случае следует провести корректировку числа питающихся рыб и увеличить норму кормления на 10–20% при постоянном контроле за полнотой и временем поедания комбикорма; во втором – определить остаточную биомассу естественной кормовой базы, принять меры для усиления ее развития.

При смешанной посадке двухлеток и трехлеток или рыб одной возрастной группы разного размера раздачу корма следует проводить дробными порциями с часовым промежутком, чтобы мелкие рыбы могли подойти к корму после того, как насытятся крупные.

Контроль за поедаемостью комбикормов. Проверка поедаемости комбикормов является обязательным элементом технологии кормления карпов в прудах. Быстрота и невысокая трудоемкость определения делают ее удобным показателем для оперативной оценки рыбоводной ситуации. Поедаемость комбикормов можно контролировать двумя основными способами: визуальной проверкой остатков корма на местах кормления; учетом количества кормов, оставшихся в самокормушках.

Проверка наличия остатков корма непосредственно на кормовых местах проводится при помощи сетчатого черпака или какого-либо иного приспособления. Обычно это делают через определенное время после раздачи комбикорма на специально отмеченных кормовых точках (как правило, на одной из пяти–семи). Проверка на следующий день перед кормлением необъективна, так как за сутки основная часть несъеденного корма рассеивается по пруду, особенно в ветреную погоду.

При температуре воды 23–25 °С и выше и двухразовом кормлении гранулированными комбикормами водостойкостью 15 мин, кучной их раздаче и разовой порции 2,0–2,5% от массы рыб, нормальном кислородном режиме в условиях слабого развития естественной кормовой базы поедаемость надо проверять через 60-30 мин после окончания кормления, при 20–22 °С – через 1,0–1,5 ч, до 20 °С – через 2–3 ч. При температуре воды 18–19 °С после одноразового кормления проверку следует проводить через 4–5 ч, при 20–21 °С – через 3,0–3,5 ч. Обычно по истечении этого времени все группы рыб хорошо наедаются. Несъеденные остатки быстро рассеиваются по пруду, перемешиваются с илом, оседают на дно и теряются для рыб. Если в этих условиях корм остается несъеденным, разовую дозу следует уменьшить, одновременно контролируя содержание кислорода в воде.

При раздаче комбикормов дорожкой, особенно нерегулируемой, проверка затруднена из-за очень быстрого рассеивания и смешивания кормов с илом, особенно в случае использования гранул с большим содержанием крошки или рассыпного комбикорма. Нередко это не позволяет вовремя (до контрольного облова) обнаружить погрешность в нормировании или уловить момент потери аппетита у рыб и установить его причину.

Тормозящее влияние на скорость поедания оказывает обеспеченность рыб естественной пищей. Так, в начальный период (для сеголетков конец июня, для двухлеток – апрель – май), когда в питании преобладают животные организмы, проверку следует осуществлять не ранее чем через 3 ч.

В основной период кормления (для сеголеток июль – август, для двухлеток конец июня – август), когда естественной пищи почти нет, сроки между раздачей и проверкой поедаемости следует сократить. В зависимости от температуры воды они составят 1,0–1,5 ч. Осенью по мере снижения температуры, интенсивности питания и роста рыб при обычном для этого периода одноразовом кормлении, поедаемость кормов надо проверять не ранее, чем через 3 ч.

Отклонение сроков поедаемости кормов от указанных выше служит признаком изменения рыбоводной ситуации, сигнализирующим о необходимости коррекции кормления. Причинами замедления поедаемости могут быть ухудшение кислородного или гидрохимического режима, заболевание рыб или неправильное нормирование комбикорма из-за недостаточно точного определения средней массы и числа питающихся рыб, а также несовершенная методика расчета норм кормления.

В любом случае количество вносимого в пруды комбикорма необходимо увеличивать или уменьшать примерно на 10–20% до тех пор, пока время поедаемости не приблизится к оптимальному. Кроме того, необходимо установить причину замеченных отклонений и устранить ее.

Использование маятниковых кормушек. Маятниковые кормушки (или "самокормушки") обеспечивают раздачу корма в соответствии с режимом питания, избранным самой рыбой, что помогает добиться в прудовых условиях максимального и экономически выгодного прироста продукции. Различные типы кормушек были впервые разработаны В.В. Лавровским [1979]. Эффект от применения самокормушек, многократно подтвержденный при выращивании рыб в прудах, обычно проявляется в увеличении рыбопродуктивности, сокращении потерь и затрат корма. Основные приемы практического использования самокормушек ("Рефлекс-Т-1000" или 1500, "Рефлекс-50", "Рефлекс-МТ-200"), разработанные на базе обобщения опыта их эксплуатации, подробно описаны автором и его сотрудниками [Лавровский, 1979; Лавровский, Мустаев, 1987 и др.].

Процесс приучения рыб к питанию из самокормушек может протекать в каждом пруду по-разному в зависимости от конкретных условий. Обычно активное потребление комбикормов совпадает с весенним повышением температуры воды. Приучение двухлеток и трехлеток длится, как правило, от 1–2 дней до 1–2 недель, а для сеголеток оно может затянуться до 1,0–1,5 мес. Поэтому для молоди карпа в этот период желательно дополнительное внесение комбикорма на кормовые места. По мере роста и привыкания сеголеток к самокормушкам через них следует проводить постепенно все комбикорма.

7.1.5. Особенности кормления карпов различных возрастных групп

Личинки. Личиночный период развития карпа, продолжающийся 10–15 сут. (в зависимости от температуры воды), является одним из наиболее ответственных моментов в жизни рыб. В кратчайшие сроки на фоне очень быстрого роста заканчиваются в основном формирование и развитие всех систем организма и происходит его приспособление к экологическим условиям. В это время закладываются основы здоровья и трофические навыки рыб.

При естественном нересте производителей в нерестовых прудах личинок пересаживают в выростные пруды на этапе полного перехода на внешнее питание. В этот период они умеют хорошо захватывать мелкий зоопланктон, что обусловливает быстрое развитие их пищеварительной системы. Они обладают бóльшей жизнеспособностью, чем личинки, полученные заводским способом, которых высаживают в пруды на 2–3-й день после вылупления на начальном этапе перехода на смешанное питание. Поэтому при использовании заводского метода получения потомства, что широко практикуется в настоящее время в рыбоводстве, од-

ним из важных технологических элементов является подращивание молоди до жизнестойких стадий. Эти стадии характеризуются относительно полным формированием пищеварительной системы личинок и приобретением ими способности активного питания, как естественной пищей, так и комбикормами.

Биотехника подращивания личинок карпа подробно описана в инструкции ВНИИПРХ [Ефимова и др., 1985]. Она основана на создании в прудах необходимого фона естественной пищи путем мелиоративной обработки ложа прудов, рационального применения удобрений, интродукции планктонных организмов, выбора оптимальной плотности посадки и т.д. Процесс оканчивается при массе молоди 20–25 мг. В зависимости от температуры воды, кислородного режима и уровня развития естественной кормовой базы в средней полосе подращивание ведут 15–25 сут., в южных районах – 10–15 сут. Иногда в случае слабого развития естественной кормовой базы применяют стартовые комбикорма, которые стимулируют рост личинок.

Однако подращивание личинок в прудах – технологически сложный и достаточно трудоемкий процесс. В связи с этим большой интерес представляют способы подращивания личинок в индустриальных условиях (лотках, бассейнах, силосах) с применением стартовых комбикормов.

Кормление личинок при подращивании в индустриальных установках. Применение стартовых комбикормов при выращивании личинок карпа повышает эффективность работы рыбоводных хозяйств. Появляется возможность получать молодь ранней весной, когда нельзя проводить подращивание личинок в прудах из-за отсутствия или слабого развития естественной кормовой базы или ограничения температурных условий. Кроме того, вне зависимости от сезона можно выращивать посадочный материал для зарыбления индустриальных установок

Наиболее эффективными старитовыми комбикормами для личинок карпа до настоящего времени считались "Эквизо" (разработчик ГосНИОРХ) и РК-С (разработчик ВНИИПРХ). Их состав подобран в соответствии с потребностями личинок в питательных веществах, которые определяются степенью развития пищеварительной системы на последовательных личиночных стадиях. В стартовых комбикормах содержание сырого протеина колеблется в пределах 45–55%, жира – 2–6, углеводов – 20–25, минеральных веществ – 7–12% при калорийности 11–12 МДж. Компонентный состав этих рецептов запатентован и поэтому не приводится.

Комбикорма этих рецептов использовали при полном отсутствии естественной пищи. Однако их эффективность повышалась, если первые три дня их задавали в смеси с зоопланктоном или декапсулированными яйцами артемии, а также с ее науплиями. Комбикорма выпускались в виде крупки семи размеров и гранул диаметром 4–5 мм.

Размер частиц стартовых комбикормов должен соответствовать размеру ротового отверстия, который имеет тесную связь с массой личинок и мальков (табл. 88). Если комбикорм поступает в хозяйство в виде гранул, их дробят и просеивают через сита (см. табл. 88).

Таблица 88. Размер частиц стартовых комбикормов для личинок и мальков карпа в зависимости от их массы (по Гамыгину и др., 1989)

Масса личинок и молоди карпа, мг	Размер частиц, мг	№ крупки по ТУ 15-615-84	Размер ячеи сита и его номер для просеивания дробленых гранул, мм/№
До 3	До 0,1	1	0,13/47
3,1–10	0,1–0,2	2	0,22/32
11–50	0,2–0,4	3	0,50/17
51–100	0,4–0,6	4	0,75/11
101–300	0,6–1,0	5	–
301–1000	1,0–1,5	6	–
1001–2000	1,5–2,5	7	–

Комбикорм "Эквизо" наиболее эффективен при температуре воды 28–30 °С. Однако это не означает, что его нельзя применять при более низких температурах. "Эквизо-1" предназначен для выращивания молоди до массы 60 мг. "Эквизо-2" – для молоди от 60 мг до 1 г. Разница между этими рецептами заключается в соотношении компонентов.

Подробные инструкции по использованию комбикормов рецептов "Эквизо"даются в рекомендациях И. Остроумовой и В. Турецкого [1981].

Рецепт РК-С, разработанный коллективом сотрудников ВНИИПРХ [Канидьев, Гамыгин, Боева, Милославова, 1983], дает хороший эффект при более низких температурах – от 20 до 25 °С. Выпускается в виде крупки размером от 0,1 до 2,5 мм и гранул диаметром 3,2–3,7 мм. Принципиальных отличий в технике применения комбикорма РК-С по сравнению с "Эквизо" в практике кормления личинок нет. Незначительные различия обусловлены большей частью особенностями устройства и эксплуатации установок, в которых проводится выращивание личинок.

Нормы кормления (табл. 89) превышают уровень биологической потребности рыб на величину неизбежных потерь, связанных с технологией кормления.

Таблица 89. Расчетные нормы кормления личинок и мальков карпов стартовыми комбикормом РК-С в зависимости от температуры воды и массы рыб, % от массы рыб [по Канидьеву, Гамыгину и др. 1983]

Средняя масса рыб, мг	Суточная доза корма при температуре воды, °С		
	20–25	26–28	29–32
До 3	50	50	50
3–10	50	60	75
11–50	70	90	80
51–100	50	70	80
101–300	40	50	60
301–1000	25	30	40
1001–2000	15	20	30

Широкая практика применения стартовых комбикормов при ограниченном количестве естественной пищи, особенно в условиях замкнутого водоснабжения, позволила выявить их особенности.

На первых постэмбриональных этапах лучшее развитие личинок, и особенно формирование скелета, происходят не при оптимальных для роста (27–30 °С) температурах, а при существенно более низких (19–21 °С). При этом, несмотря на замедление роста и удлинение периода подращивания личинок до нужной массы, снижается количество скелетных уродств и повышается выживаемость.

В условиях рыбоводных хозяйств, имеющих обычные инкубационные цеха, для подращивания личинок до массы 20–25 мг при температуре воды 20–24 °С, требуется 10–15 сут. В условиях индустриальных хозяйств, обеспеченных теплом, при температуре 27–28 °С личинки достигают массы 20–50 мг за 10–20 сут. при выживаемости 80%, а за 30–40 сут. – массы 1–2 г (выход не менее 60%).

Исследования ГосНИОРХ, ВНИИПРХ, КрасНИРХ и других институтов показали, что корма этого типа могут также с успехом применяться для выращивания сиговых и ряда других рыб в индустриальных условиях.

Детальное руководство по выращиванию личинок и молоди карпа и других видов рыб в замкнутых системах можно найти в инструкции В. Филатова с сотрудниками [1989].

Однако в настоящее время в связи с отсутствием на рынке сырья основных компонентов – паприна и эприна, выпуск этих комбикормов прекращен. В результате возникли большие трудности при выращивании личинок карпа в условиях индустриальных хозяйств и существует настоятельная необходимость поиска новых источников биологически полноценного высокобелкового сырья. Несо-

мненно, что выход из подобной ситуации будет найден и существующий опыт использования этих кормов найдет новое применение. Наиболее перспективным источником полноценного белкового сырья, по нашему мнению, могут быть дрожжи кливеролакт (см. раздел 3.2.5).

Ранняя адаптация личинок к стартовым комбикормам. Практика применения стартовых комбикормов для кормления личинок карпа в индустриальных условиях позволила обнаружить интересное явление. На стадии перехода от предличинок к личинкам в начале их активного питания некоторые комбикорма проявляют отпугивающие (репеллентные) свойства. В специальных исследованиях было выяснено, что эта репеллентность обусловлена химической природой некоторых компонентов, таких как рыбная мука, БВК, пшеничные отруби и другие, что приводит к снижению активности питания личинок. Как следствие, происходят замедление роста рыб и ухудшение продуктивного действия комбикорма. С целью устранения нежелательных эффектов сотрудниками Калининградского института рыбного хозяйства совместно с ВНИИПРХ был разработан оригинальный способ ранней адаптации личинок карпа к химическому фону пищи [Шутов и др., 1988], основанный на особенностях восприятия химических веществ корма органами обоняния карпа в период эмбрионального развития. Его применение способствует более быстрому привыканию личинок к химическим сигналам корма, что после вылупления повышает активность его потребления. В результате происходят ускорение роста личинок и снижение их смертности.

Сущность способа состоит в подаче в воду инкубационных аппаратов определенного количества экстракта стартового комбикорма. Содержащиеся в экстракте легкорастворимые вещества проникают через оболочку икринки и начинают восприниматься органом обоняния эмбриона уже на начальном этапе его функционирования. В силу этого организм карпа еще в эмбриональном периоде привыкает к химическим свойствам комбикорма, приспосабливается к нему и после вылупления, переходя к активному питанию, уже не воспринимает его химические сигналы как нечто чуждое и пугающее.

Этот способ может быть реализован двумя путями. Первый, дающий наибольший эффект, применяется в процессе инкубации икры в аппаратах и продолжается при выдерживании личинок в лотках до перехода их на внешнее питание. Второй – ограничивает время адаптации личинок периодом инкубации икры в аппаратах и заканчивается в момент пересадки личинок в лотки. Он дает несколько меньший эффект, чем первый, и применяется в условиях, когда проведение процедуры адаптации личинок в лотках по каким-либо причинам невозможно (отсутствие емкостей для подачи экстракта и т.д.). Схема устройства представлена на рис. 13.

Обязательное условие – использовать для кормления личинок тот вид стартового корма, к которому проводилась адаптация.

В результате применения этого способа за 15–22 суток подращивания масса адаптированных личинок по сравнению с неадаптированными увеличивается в 1,5–2,5 раза при снижении затрат корма в 2,6–2,8 раза.

Раннюю адаптацию личинок карпа к стартовому комбикорму рекомендуется проводить в заводских условиях во время инкубации икры в аппаратах Вейса или ВНИИПРХ и при выдерживании личинок в лотках. Сведения о способах монтажа установки, ее эксплуатации, способах приготовления и подачи экстракта подробно изложены в инструкции [Шутов и др., 1988].

Освоение данного способа доступно специалистам со средним и высшим образованием и может быть осуществлено в любых тепловодных и прудовых хозяйствах, имеющих инкубационные цехи.

Использование способа в условиях Черепетского ТРХ применительно к комбикорму "Эквизо" выразилось в снижении себестоимости 1 млн. личинок на 33% за счет увеличения их массы и выживаемости. Эффект ранней адаптации прослеживался и при последующем выращивании сеголеток: наблюдалось увеличение прироста массы рыб на 66%, выживаемости – на 22%, рыбопродукции – в 2,9 раза при снижении затрат комбикорма на 36% (до 1,8).

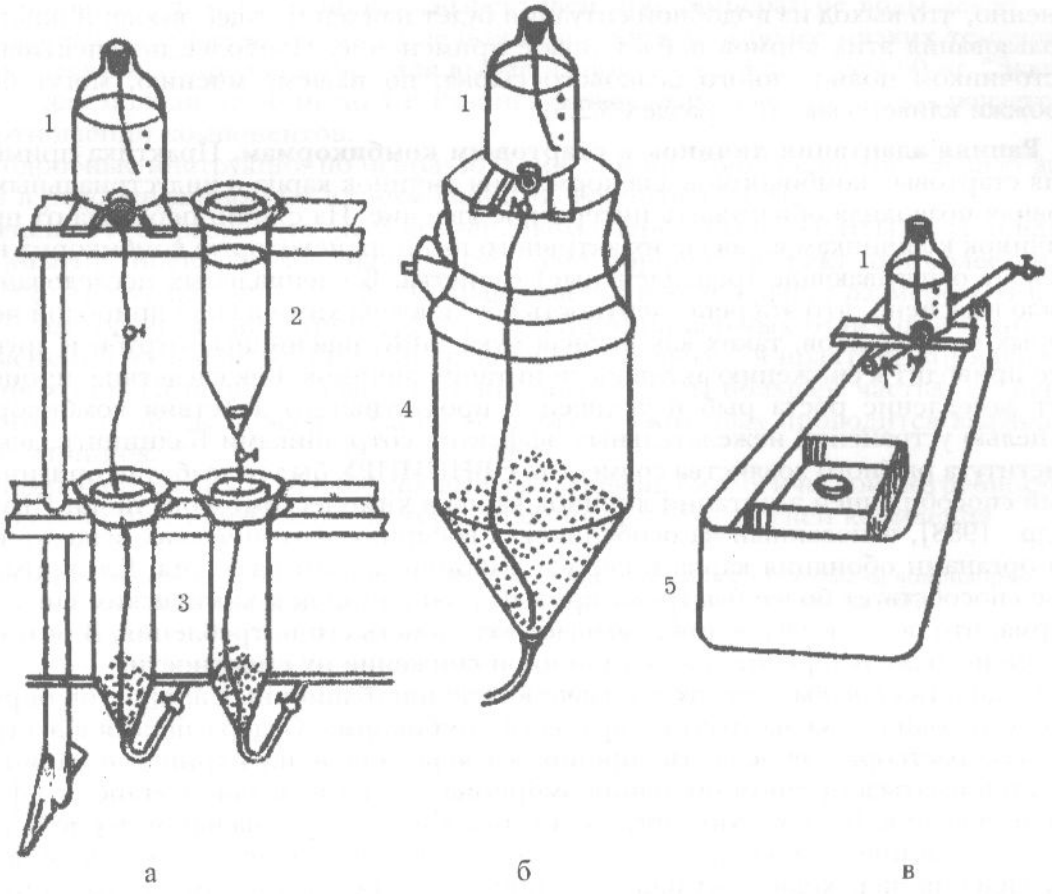


Рис. 13. Схема устройства и способы подачи экстракта стартового корма по методу ранней адаптации (по Шутову и др., 1988):
а – подача экстракта корма в аппараты Вейса из склянки с нижним тубусом или из аппарата Вейса с использованием двухъярусной стойки; *б* – подача экстракта корма из склянки с нижним тубусом в аппарат ВНИИПРХ; *в* – подача экстракта корма из склянки с нижним тубусом в лотки; *1* – склянка с экстрактом корма; *2* – аппарат Вейса с экстрактом корма; *3* – аппараты Вейса с инкубируемой икрой; *4* – аппарат ВНИИПРХ с инкубируемой икрой; *5* – лоток с личинками

Дальнейшие исследования показали, что этот способ применим и при выращивании личинок и молоди толстолобиков, канального сома, осетровых [Шутов, Кузьмин и др., 1992; Кузьмин, Востроушкин, 1994; Миронов, Востроушкин 1994; Востроушкин, Кузьмин, Шутов, 1995; Востроушкин, 1998].

Сеголетки. Кормление молоди на первом году жизни комбикормами должно обеспечивать нормальное развитие и высокую интенсивность роста рыб в летний период, накопление к осени определенного запаса питательных веществ и их экономную утилизацию во время зимнего голодания. Оно должно способствовать высокой выживаемости и сохранению определенных ресурсов в организме для последующего роста на втором году жизни и одновременно быть экономичным.

Однако комбикорма являются для рыб искусственной пищей и в силу специфичности своего состава не могут полностью удовлетворять потребности карпов в аминокислотах и жирных кислотах, а также в биологически активных веществах (витаминах, ферментах, микроэлементах). Молодь рыб, выращиваемая в прудах, обычно получает все это с естественной пищей. Нами установлено, что степень обеспеченности молоди кормовыми организмами (зоопланктоном и зообентосом) не только влияет на интенсивность роста в течение сезона, но и оказывает четко выраженное последействие на обмен веществ и выживаемость при зимнем голодании и далее в период нагула на втором году жизни [Грудцина, Трямкина, Щербина, 1976; Щербина, Грудцина, 1976; Щербина, Гиряев, Касаткина, 1999].

По данным А.Е. Касаткиной [1988], суммарно за лето и зиму последействие снижения в рационе сеголеток животной пищи при кормлении их комбикормом 110-Б выразилось в сокращении выхода годовиков от 1 тыс. личинок с 69 до 37%. Кроме того, от них было получено на 58% меньше продукции. На второй год в нагульных прудах последействие меньшей обеспеченности сеголеток естественной пищей сказалось на замедлении процессов восстановления зимних потерь, торможении роста (~ на 10%) и снижении выживаемости рыб в начале нагульного периода (~ на 15%). В свете вышеизложенного в практической деятельности рыбовода важен подбор такой плотности посадки сеголеток в пруды, при которой наряду с применением комбикормов возможно обеспечение молоди достаточным количеством естественной пищи.

Согласно исследованиям по изучению последействия, оказываемого условиями выращивания сеголеток (плотность посадки от 30 до 120 тыс/га) на физиологическое состояние перезимовавших годовиков, установлено, что оптимальной плотностью посадки является 30–45 тыс/га [Головинская и др., 1974, Щербина, 1984].

Выращивание физиологически полноценных сеголеток карпа при высокой плотности посадки (60–100 тыс/га) возможно только в высокопродуктивных прудах. При этом еще большее значение приобретают интенсификационные мероприятия, способствующие усиленному развитию в прудах животной пищи высокого качества (мелиорация, удобрения, интродукция планктонных и придонных ракообразных), а также питательные свойства комбикормов.

Выбор рецептов комбикормов. Перед заказом комбикормов у производителей необходим подбор оптимальных размеров гранул для рыб различных весовых групп.

Рекомендуемые соотношения между размером гранул комбикорма и массой карпов приведены ниже.

Масса рыб, г	1,0–10,0	11–40	41–150	151–500	> 500
Размер гранул, мм	1,5–2,5	2,5–3,5	3,5–4,5	4,5–6,0	6,5–8,0

На предприятиях Министерства сельского хозяйства для сеголеток и ремонтного молодняка выпускают комбикорма рецептур *серии К-110.* Их состав базируется на научных разработках 50–60-х годов прошлого века [Суховерхов, 1957]. В малоизмененном виде они дошли до настоящего времени. При выполнении этих рецептов допускается произвольное сочетание компонентов внутри основных групп кормовых средств без учета их физиологической питательности и потребностей рыб. В процессе промышленного производства это, с одной стороны, приводит к произвольным изменениям химического состава и питательных свойств комбикормов, с другой – вызывает наслаивание негативных факторов, таких как недостаток лимитирующих незаменимых аминокислот (в основном лизина и метионина), минеральных элементов, а также антипитательных факторов. В результате биологическая питательность белка и продуктивные свойства комбикорма изменяются в широких пределах, даже при условиях, что общее содержание сырого протеина находится на уровне стандарта. Применение таких комбикормов в рыбоводстве даже при обеспечении хорошего роста молоди в период вегетации нередко приводит к понижению ее резистентности. Впоследствии возможны гибель сеголеток в зимний период, а также снижение выживаемости и скорости роста рыб на втором году жизни.

Комбикорма этой серии выпускаются в виде гранул диаметром 3,2–4,5 мм. Они предназначены для выращивания в прудах сеголеток карпа массой от 1 до 25 г в условиях моно- и поликультуры карпа и растительноядных рыб. В них на 100 г массы должно содержаться не менее 26 г сырого протеина, 2,5 г жира и 7–9 г сырой клетчатки. В силу описанных особенностей подбора компонентов комбикорма данных рецептур могут быть недостаточно питательными и способны обеспечить производство зимостойкого посадочного материала только в условиях невысокий плотности посадки (20–30 тыс/га) при среднем уровне продуктивности карпа 7–13 ц/га и растительноядных рыб – 5–8 ц/га. При рациональном

нормировании затраты комбикорма на единицу прироста массы рыб могут быть в пределах 2,8–3,5 ед/ед.

Комбикормовые предприятия, относящиеся к системе рыбной промышленности, выпускают комбикорма усовершенствованных рецептур ПКС-86 и ВБС-РЖ.

Рецепт ПКС-86 – полнорационный гранулированный комбикорм для сеголеток карпа. Сырьевые компоненты в нем подобраны в соотношениях, более полно удовлетворяющих потребности молоди в питательных веществах и энергии, чем комбикорма серии 110. Комбикорм ПКС-86 разработан во ВНИИПРХ в 80-х годах XX века. Его состав (%): подсолнечниковый шрот – 25, соевый шрот – 10, пшеница – 10, ячмень – 33,5, отруби – 10, рыбная мука – 6, кормовые дрожжи – 4, мел – 1,5.

В 100 г комбикорма содержится не менее 26 г сырого протеина, 3,5 г жира, 4,8 г золы и 7,5 г клетчатки. Выпускается в виде гранул диаметром 2,5–4,5 мм. Затраты корма на единицу прироста сеголеток составляют 2,5–3,3 ед., на суммарную продукцию всех видов поликультуры – 1,8–2,5 ед. Комбикорм предназначен для получения физиологически полноценного посадочного материала в хозяйствах с планируемым уровнем продуктивности сеголеток карпа, равным 12–16 ц/га, и растительноядных рыб – 4–8 ц/га.

Рецепты комбикормов серии ВБС-РЖ – высокобелковые сбалансированные полнорационные из растительно-животного сырья с белком улучшенного качества. Эти корма изготавливаются в виде гранул диаметром 2,5–4,5 мм. Они предназначены для выращивания в прудах сеголеток карпа массой от 0,5–1,0 г до 35 г и выше в условиях моно- и поликультуры с растительноядными рыбами. Разработаны ВНИИПРХ на базе данных о питательности отдельных видов сырья и потребности карпа в незаменимых аминокислотах и энергии [Щербина и др., 1976, 1986–1988, 1990]. При этом в них достигнуто оптимальное соотношение энергии белка и безбелковых источников в переваримых частях корма. Данные комбикорма являются высокопитательными и экономичными искусственными кормами, обеспечивающими потенциальные возможности роста молоди в условиях интенсивных прудовых хозяйств, высокую устойчивость сеголеток при голодании во время зимовки, а также хорошее качество годовиков для производства товарных двухлеток. По линии Минсельхоза рецепты кормов этой серии имеют шифр К-116. Компонентный состав их рецептов приведен в табл. 90.

Рецепт ВБС-РЖ-90 имеет наивысшее содержание хорошо сбалансированного белка, предназначен для ранней молоди массой 0,3–0,5 г; экономически наиболее целесообразно его применение до массы сеголеток 10 г, но он может быть использован и для выращивания рыб до массы 30 г и более. Возможно его применение при индустриальном производстве сеголеток карпа.

Рецепты комбикормов, начиная с ВБС-РЖ-81 до ВБС-РЖ-87, предназначены для молоди массой от 1 до 25 г.

Рецепт ВБС-РЖ-85 не имеет в своем составе рыбной муки. Сбалансированность корма достигнута за счет присутствия 16% БВК-паприна, повышенного количества подсолнечного шрота и микроэлементных премиксов. Введение премиксов дает возможность полностью заменить рыбную муку паприном без снижения питательных свойств комбикорма, которые выражаются (в случае исключения рыбной муки) в ухудшении физиологического состояния и повышении смертности годовиков после зимовки [Дума, 1987]. Премикс предлагается в двух вариантах: 1) в виде смеси микроколичеств селенита натрия (0,1 мг/кг корма) и йодида калия (1–1,5 мг/кг) с наполнителем (10 г гидролизных дрожжей); 2) 2–5% кормовой крупки из отходов филлофоры – природного источника селена и йода.

Высокая питательность комбикормов делает возможным их применение и при выращивании товарных сеголеток карпа. В этом случае затраты комбикорма составляют 1,5–2,0. Сроки хранения этих комбикормов не должны превышать 2–3 мес.

Комбикорма остальных рецептур имеют близкие питательные свойства, выбор рецепта зависит от наличия на производящем предприятии сырья и его стоимости.

Таблица 90. Рецепты комбикормов для сеголеток прудового карпа, %

Компоненты	Шифры рецептур					
	ВБС-РЖ-90	ВБС-РЖ-83 (база)	ВБС-РЖ-81	ВБС-РЖ-85	ВБС-РЖ-87	ПКС-86
	Масса рыб, г					
	0,5 ⩾ 10	10 ⩾ 25				
Рыбная мука	20	16	9	–	9	6
Соевый шрот	15	5	10	9	20	10
Подсолнечный шрот	10	20	15	20	5	25
Горох	–	10	–	10	18	–
Пшеница	25	19	18	40	37	10
Ячмень	–	20	30	–	–	33,5
Кукуруза	15	–	–	–	–	–
БВК* паприн[1], эприн[2], кормовые дрожжи[3]	9[2]	4[1]	8[2]	16[1]	8[3]	4[3]
Пшеничные отруби	–	3	7	3	–	10
Масло подсолнечное	1,5	–	–	–	–	–
Фосфаты (моно-, ди-кальций)	3,0	2,0	2,0	1,0	2,0	–
Мел	–	–	–	–	–	1,5
Витаминный премикс ПК-П	1,5	1,0	1,0	–	1,0	–
Микроэлементный премикс №1 или 2**	–	–	–	1,0	–	–
Показатели качества 100 г корма						
Сырой протеин	36,5/28,8	33,3/25,3	30,5/23,5	31,9/24,8	33,0/25,6	30,7/22,7
Лизин	2,14/1,86	1,82/1,58	1,69/1,48	1,80/1,61	1,92/1,64	1,58/1,37
Метионин	0,70/0,59	0,65/,055	0,56/0,49	0,50/0,44	0,52/0,42	0,57/0,50
Цистин	1,30	1,20	1,06	0,96	1,01	1,08
Липиды	5,9/5,1	3,9/3,2	3,9/3,0	3,6/2,8	3,2/2,2	3,8/3,2
Углеводы	51,0/27,5	55,7/27,9	59,0/31,9	58,9/31,8	57,7/29,4	58,5/30,4
Клетчатка	4,2	6,6	6,4	6,2	4,7	8,2
Зола	6,5	7,1	6,6	5,6	6,0	7,0
Фосфор	1,91/1,07	1,59/0,57	1,41/0,57	1,04/0,44	1,53/0,67	0,87/0,35
Энергия, МДж/100 г:						
валовая	2,00	1,93	1,92	1,94	1,93	1,91
переваримая	1,35	1,17	1,21	1,18	1,15	1,17
обменная	1,20	1,03	1,08	1,05	1,01	1,05
Отношение переваримого протеина к переваримой энергии, (П/Э) мг/кДж	21,3	21,6	19,4	21,0	22,3	19,4

*1–4 – в рецепт вводится только один из видов дрожжей. Все виды кормовых дрожжей в эквивалентных количествах заменяются на витазар.

**Микроэлементный премикс: 1 – Na_2Se_3 – 0,1 мг + KI – 1–1,5 мг/кг корма + 10 г/кг наполнителя; 2 – 2–5% муки из филлофоры или других морских водорослей.

***Перед чертой валовое содержание, за чертой – переваримые вещества.

Использование комбикормов серии ВБС-РЖ дает возможность получать продукцию сеголеток 12–24 ц/га и более, а совместно с растительноядными рыбами – 19–36 ц/га и выше. Среднесезонные затраты комбикорма на прирост единицы массы колеблются в пределах 1,3–2,8, составляя в среднем 2,5.

По сравнению со стандартными комбикормами рецептов К-110-1 и ПК-С-86 корма серии ВБС-РЖ обеспечивают более активный рост молоди, ее лучшую выживаемость в зимний период (на 20–40%), а также более высокий (на 10–15%) темп роста годовиков на втором году жизни. При этом отмечен существенно меньший отход двухлеток в случае неблагоприятных условий выращивания. Практика показала, что применение комбикормов рецептов ВБС-РЖ целесообразно не только в районах с холодной зимой, но и на юге, где зимовка идет при повышенных температурах воды, вызывающих истощение рыб. Для достижения максимального рыбоводного эффекта и получения физиологически полноценного посадочного материала стандартной массы комбикорма следует применять с начала кормления и до его конца.

Использование комбикормов рецептов ВБС-РЖ биологически и экономически эффективно в высокоинтенсивных прудовых хозяйствах I–VI зон рыбоводства на фоне технологической схемы выращивания рыбопосадочного материала ВНИИПРХ [Ефимова и др., 1985].

Есть успешный опыт применения этих комбикормов, дополнительно обогащенных витаминным премиксом для форели ПФ-2В, при выращивании товарных двухлеток в условиях индустриальных тепловодных хозяйств [Сычев, Щербина и др., 1988].

Важным условием высокой эффективности комбикормов различных рецептур является обязательность их использования в строгом соответствии с назначением. В рыбоводной практике нередко не учитывают, что рецептуры комбикормов предназначены для определенного вида рыб с учетом возрастных потребностей в питательных веществах и особенностей системы пищеварения. Это делает их малоэффективными для других видов и возрастных категорий рыб. Так, желание активизировать рост сеголеток карпа высокобелковыми форелевыми комбикормами типа РГМ-5В не оказывает ростового действия, адекватного повышенному уровню протеина, и удорожает стоимость продукции. А. Касаткина [1988] показала, что использование кормов этого типа с истекшим сроком хранения приводит к обратному биологическому эффекту.

Столь же неблагоприятное последствие вызывает применение чисто растительных комбикормов, предназначенных для выращивания старших возрастных групп карпа или для сельскохозяйственных животных (за исключением цыплят), а также кормов с низким (2%) содержанием рыбной муки. Двухлетки, выращенные из подобных годовиков, медленнее растут, обладают пониженной резистентностью, что на втором году жизни приводит в неблагоприятных условиях к повышенному отходу.

Для предупреждения преждевременного голодания и отхода молоди в осенний и зимний периоды рекомендуется продолжать умеренное кормление рыб комбикормами до начала спуска выростных прудов, особенно в условиях повышенного уровня интенсификации, и в частности высокой плотности посадки. Для нормирования комбикормов, помимо табл. 12 Приложения, следует использовать табл. 91.

Двухлетки. В прудовых карповых хозяйствах с двухлетним оборотом на выращивание товарной рыбы затрачивается до 80–90% от общего количества расходуемых комбикормов. В связи с этим объем производимой товарной продукции и экономическая эффективность работы хозяйств во многом определяются физиологической обоснованностью подбора рецептур комбикормов и технологии кормления применительно к уровню интенсификации.

В целях получения наивысшего эффекта от кормления необходимо учитывать физиологическое состояние рыб во все периоды вегетации. Помимо здоровья и экологических условий, оно определяется сезонными ритмами питания, степенью обеспеченности естественной кормовой базой и питательностью комбикорма. Как указывалось выше, для двухлеток немаловажное значение имеет и качество питания на первом году жизни.

После пересадки годовиков в нагульные пруды в течение первых 2–4 недель (в зависимости от температуры воды они приходятся на апрель – май) организм

Таблица 91. Суточные нормы гранулированных комбикормов для сеголеток карпа, выращиваемых в прудовых хозяйствах, % массы рыб (рецепты К-110-1)*

Температура воды, °С	Средняя масса сеголеток карпа, г										
	1,0	3,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	35,0	60,0	100,0	⩾ 150,0
Начальный период; при хорошем развитии естественной кормовой базы (10–20 мг/л и более остаточной биомассы зоопланктона) нормы можно применять и далее											
15	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
17	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2	2,1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5
19	3,6	3,4	3,1	2,9	2,8	2,7	2,4	2,3	2,2	2,0	1,9
21	4,4	4,2	3,9	3,5	3,4	3,3	3,0	2,9	2,6	2,4	2,3
23	5,2	5,0	4,7	4,1	4,0	3,9	3,6	3,5	3,2	3,0	2,7
25	6,2	5,8	5,5	4,9	4,6	4,5	4,2	4,1	3,8	3,6	3,3
27	7,1	6,6	6,3	5,7	5,3	5,1	4,8	4,7	4,4	4,2	3,9
⩾28	7,6	7,1	6,7	6,1	5,7	5,5	5,2	5,0	4,7	4,5	4,2
Основной период или начальный при плохом развитии естественной кормовой базы (менее 10 мг/л остаточной биомассы зоопланктона)											
15	4,5	4,3	4,1	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
17	5,8	5,4	5,2	4,7	4,5	4,3	4,1	3,8	3,6	3,4	3,2
19	7,2	6,6	6,2	5,7	5,6	5,3	5,1	4,7	4,5	4,2	3,8
21	8,8	8,2	7,6	6,9	6,7	6,4	6,1	5,7	5,5	5,0	4,6
23	10,5	9,8	9,0	8,2	7,9	7,6	7,1	6,7	6,5	5,9	5,5
25	12,3	11,4	10,6	9,7	9,1	8,8	8,3	7,9	7,5	6,9	6,5
27	14,4	13,2	12,3	11,3	10,5	10,2	9,7	9,2	8,6	8,0	7,5
⩾28	15,2	14,2	13,2	12,1	11,3	11,0	10,6	10,0	9,3	8,6	8,0
Заключительный период (сентябрь, октябрь)											
	Средняя масса рыб, г										
	20	25	30	35	40	50	70	⩾100			
10	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4			
11	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8			
13	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0			
15	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,5	1,4			
17	2,9	2,8	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0			
⩾18	3,3	3,1	2,9	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3			

*При использовании рецептов типа ВСР-РЖ (К-116), ПКС-86 и других с повышенной питательностью нормы сокращают на 10%.

рыб находится в стадии естественной физиологической реабилитации после зимнего голодания. В это время при относительно низких температурах за счет питательных и биологически активных веществ естественной пищи идет постепенное восстановление структуры всех систем организма, и прежде всего пищеварительной, при незначительном или полном отсутствии прироста массы. Нежная по консистенции естественная пища не травмирует пищеварительный тракт и способствует быстрому восстановлению его функций. Поэтому начиная подкормку, комбикорма следует вначале давать в небольших количествах, постепенно увеличивая дозу по мере выедания естественной кормовой базы. Комбикорма в этот период служат в основном энергетической подкормкой и лишь частично восполняют потребность рыб в белках. До тех пор, пока на комбикорма в рационе приходится до 50–60%, а остальное составляют зоопланктон

и зообентос, качественный состав комбикорма не имеет особого значения. Это обусловлено тем, что животная пища нивелирует большинство недостатков комбикормов, а также многие погрешности в технологии кормления.

При увеличении массы рыб до 50–70 г или изначальном применении сверхплотной посадки (свыше 5–6 тыс. годовиков на 1 га) происходит быстрое истощение кормовой базы прудов. Неправильный выбор рецептов комбикормов и нарушение технологии кормления приводят к торможению темпа роста рыб и снижению размеров производимой продукции.

Выбор рецептов комбикормов. Комбикорма для товарного карпа вырабатываются по рецептурам, имеющим шифры К-111, ПК-111, в гранулированном виде. Кроме того, существуют их временные модификации. Как и рецепты кормов для сеголеток серии К-110, эти рецепты в малоизмененном виде дошли до настоящего времени с 50–60-х годов XX века. Их недостатком также является допустимость произвольного сочетания различных видов сырья внутри основных групп кормовых средств (жмыхов, шротов, злаковых, бобовых), а также между отдельными группами. Кроме того, в большинстве случаев в силу особенностей аминокислотного состава подбираемого сырья эти рецепты не могут обеспечить нужного количества и соотношения таких незаменимых аминокислот, как лизин и метионин, необходимых для покрытия потребностей рыб при быстром росте.

Затраты комбикормов этих рецептур на единицу прироста массы рыб обычно колеблются в диапазоне 3,6–4,0 при средней рыбопродуктивности прудов 10–15 ц/га. В случае содержания в комбикормах значительных количеств токсичных жмыхов и шротов (хлопчатникового, клещевинного, рапсового и др.) затраты могут возрастать до 4,2–4,7 при понижении рыбопродуктивности.

На комбикормовых заводах различных форм собственности выпускаются новые гранулированные, а в отдельных случаях и экструдированные комбикорма улучшенных рецептур.

Комбикорм ПК-Вр (продукционный карповый временный) является улучшенной модификацией рецепта К-111 со стабильным набором сырья и витаминной добавкой. Его состав (%): мука рыбная – 2; мука мясокостная – 1; мука травяная – 4; мука пшеничная - 11; дрожжи кормовые (гидролизные) – 4; пшеница дробленая – 9,5; ячмень дробленый – 24; шрот соевый – 18; шрот подсолнечниковый – 26; премикс ПМ-2 – 0,5. В 100 г комбикорма содержится не менее 23 г сырого протеина, не менее 3 г жира.

На 1 кг прироста карпа требуется в среднем 3,5 кг комбикорма (2,6–3,8), на прирост всех видов поликультуры – 1,2–2,2 кг. При плотности посадки 3,5–5,0 тыс/га обеспечивается в среднем получение продукции 12–16 ц/га и более, в поликультуре с растительноядными рыбами – 22 ц/га и более.

Рецепты СБС-РЖ, МБП, МБЯ – полнорационные гранулированные комбикорма, созданы специалистами ВНИИПРХ [Щербина и др., 1981, 1986–1988, 1990]. Они разработаны путем подбора кормовых средств в соответствии с питательностью отдельных видов сырья и потребностью карпа в незаменимых аминокислотах и энергии. При соблюдении описанной ниже технологии кормления, как правило, они способны обеспечить нормативную и более высокую продуктивность карпа и растительноядных рыб во всех зонах рыбоводства. Их применяют в течение всего вегетационного периода. Начиная с третьей декады августа, возможна сначала частичная, а далее полная замена их зерном пшеницы и ячменя. Выпускаются в виде гранул диаметром 3,5–6,0 мм, содержат не менее 23% сырого протеина.

Комбикорма предназначены для использования во всех зонах рыбоводства при моно- и поликультуре карпа и растительноядных рыб в течение всего периода кормления.

Комбикорм СБС-РЖ – среднебелковый сбалансированный из растительно-животного сырья. Состав (%): мука рыбная – 3; ячмень лущеный – 40; пшеница – 15; шрот соевый – 5; шрот подсолнечный – 22; дрожжи кормовые или витазар – 5; отруби – 9, витаминный премикс ПК-П – 1.

Затраты на 1 кг прироста двухлеток карпа в среднем 2,6 кг (2,1–3,4 кг). При плотностях посадки карпа 3,5–5,0 тыс/га комбикорм этого рецепта обычно обеспечивает получение продукции карпа в монокультуре в пределах 16–24 ц/га, возможно и выше; а совместно с растительноядными рыбами – 18–32 ц/га. В условиях благоприятного температурного режима при соблюдении оптимальной технологии выращивания и кормления рыб при плотностях посадки карпа более 6 тыс/га возможно достижение рыбопродукции в монокультуре 34–38 ц/га.

Комбикорм МБП – малокомпонентный среднебелковый сбалансированный на основе пшеницы, имеет следующий состав (%): мука рыбная – 3; пшеница – 62; шрот соевый – 25; дрожжи кормовые (или витазар) – 4; БВК-паприн (или витазар) – 5, витаминный премикс ПК-П – 1. Ввиду небольшого числа и хорошей сыпучести компонентов удобен в производстве.

Пригоден для всех зон рыбоводства при моно- и поликультуре карпа и растительноядных рыб. На 1 кг прироста рыб требуется в среднем 2,7 кг (2,4–3,5), на суммарный прирост всех видов поликультуры – 1,2–2,2 кг. Его рациональное применение обеспечивает нормативную и существенно более высокую рыбопродуктивность прудов. Применяется в течение всего вегетационного периода.

Комбикорм МБЯ – малокомпонентный среднебелковый сбалансированный. Разработан на основе ячменя, имеет состав (%): рыбная мука – 3; ячмень лущеный – 60; горох – 10; шрот подсолнечный – 20; дрожжи кормовые (гидролизные) или БВК-паприн, витазар – 6, витаминный премикс ПК-П – 1. Выпускается в виде гранул диаметром 4,5 мм.

Как и рецепт МБП, удобен в производстве, пригоден для кормления карпа в моно- и поликультуре с растительноядными рыбами во всех зонах рыбоводства при плотности посадки 3,5–6,0 тыс/га. Затраты на 1 кг прироста при рациональной технологии скармливания составляют в среднем около 2,7 кг (2,4–3,6 кг), на суммарный прирост всех видов поликультуры – 1,3–2,3 кг. Обеспечивает как нормативную так и значительно большую продукцию карпа. Наилучший эффект дает при использовании в течение всего периода кормления.

Комбикорма рецептов СБС-РЖ-86 и МБЯ-86 являются улучшенной модификацией рецептов СБС-РЖ и МБЯ. Отличительная особенность – включение фосфорных солей в виде моно- или дикальцийфосфата за счет адекватного снижения зерна или отрубей и ряда других незначительных изменений в соотношении между компонентами. В результате продуктивное действие органической части комбикормов повышается на 13–17%. Они обеспечивают уровень рыбопродуктивности прудов выше нормативного. Целесообразно их использование при плотности посадки карпа свыше 4 тыс/га. Диапазон среднесезонных затрат комбикорма на прирост массы карпа от 2,2 до 3,3 кг, на прирост всех видов рыб в поликультуре – 1,1–2,0 кг.

Комбикорма всех перечисленных рецептур соответствуют ГОСТам. Сроки хранения при использовании стабилизированной рыбной муки 3–4 мес. Потери массы гранул при погружении в воду на 1 ч должны составлять не более 10–12%.

Нормирование комбикормов следует вести по периодам выращивания рыб в зависимости от их массы и температуры воды, используя данные табл. 92 или табл. 13 Приложения.

Трехлетки. Трехлетняя система прудового рыбоводства биологически и экономически целесообразна в условиях I–II зон рыбоводства или в тех регионах, где предъявляются особые требования к высокой массе столовых рыб (например, в Прибалтике).

Рецептура комбикорма и техника кормления трехлеток аналогична таковым для двухлеток.

Для кормления трехлеток, как и двухлеток, возможно использование цельного зерна (в основном пшеницы и ячменя) совместно с комбикормом на протяжении всего вегетационного периода, а в монодиете – в осенний период. Применение зерна подробно описано в "Технологии комбинированного применения зерна..." [Щербина, Сапаров, Раденко, 1992], где в виде рекомендаций излагаются последовательные приемы кормления карпов. Они включают порядок нормиро-

Таблица 92. Суточные нормы гранулированных комбикормов для двухлеток карпа, выращиваемых в прудовых хозяйствах, % массы рыб (рецепты СБС-РЖ, МБП, МБЯ)*

Температура воды, °С	Средняя масса двухлеток карпа, г									
	25	50	75	100	150	200	300	400	500	⩾700
Начальный период (май – июнь); при хорошем развитии естественной кормовой базы нормы можно применять в начале основного периода										
15	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3			
17	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,8			
19	3,3	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4			
21	4,1	3,6	3,5	3,4	3,2	3,1	2,9			
23	4,9	4,4	4,3	4,1	3,9	3,7	3,4			
25	5,7	5,2	4,9	4,7	4,5	4,3	4,0			
⩾26	6,2	5,6	5,3	5,1	4,9	4,7	4,4			
Основной период (июль – август)										
16		3,1	3,1	2,9	2,8	2,7	2,5	2,3	2,1	1,9
17		3,6	3,5	3,3	3,2	3,1	2,9	2,6	2,4	2,2
19		4,6	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,3	3,1	2,9
21		5,6	5,4	5,1	4,9	4,7	4,4	4,1	3,9	3,7
23		6,6	6,4	6,1	5,9	5,5	5,2	4,8	4,6	4,4
25		7,8	7,5	7,1	6,8	6,3	6,0	5,6	5,4	5,2
27		9,1	8,7	8,2	7,8	7,3	6,9	6,5	6,3	6,1
⩾28		10,0	9,4	8,8	8,3	7,8	7,4	7,0	6,8	6,6
Заключительный период (сентябрь – октябрь)										
10				0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4
11				1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5
13				1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5
15				1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7
17				1,5	1,4	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8
⩾18				1,7	1,65	1,6	1,5	1,3	1,3	1,2

*Для рецептов К-111, 112-1, ПК-Вр нормы увеличивают на 10%.

вания зерна и комбикорма, способы и режимы их раздачи, а также контроль над эффективностью использования.

Применение предлагаемой технологии по сравнению с кормлением рыб одними комбикормами рецептов типа К-111 обеспечивает следующее: сокращение общих затрат искусственного корма на 15–20% (до 2,5–2,0 ед.), белка – на 20–30%. Одновременно отмечается повышение выхода продукции карпа на 10–20%. При этом на 30–35% снижается общая стоимость кормов, затрачиваемых на 1 кг прироста рыб.

Эффективность совместного применения ячменя и комбикорма (при изменяющихся соотношениях в различные периоды выращивания) по сравнению с их раздельным скармливанием обусловлен рядом причин. К ним относятся: повышение доступности для рыб вносимых в пруды кормов; их более равномерное потребление в течение суток; сокращение потерь кормов от рассеивания и экстракции в воде; лучшее удовлетворение потребности карпов в энергии и питательных веществах в различные периоды выращивания.

7.1.6. Источники потерь комбикормов при кормлении карпов в прудах

При внесении комбикормов в пруды определенная их часть обычно не поедается карпами в силу различных причин: механического распыления частиц корма в воздухе, рассеивания его при раздаче и пребывании в воде, экстракции питательных веществ из кормов водой. Таким образом, определенное количество комбикормов теряется прежде, чем они будут доступны рыбам.

Величина механических потерь зависит от качества изготовления комбикорма на заводах и сохранности гранул при транспортировке и перевалках: чем выше прочность гранул и меньше их крошимость (по ГОСТам она должна составлять не более 8%), тем меньше будут потери от рассеивания и экстракции.

Определенное влияние на величину потерь комбикормов оказывают особенности питания карпов. После захвата гранул рыбы с помощью глоточных зубов начинают их перетирать, периодически выплевывая крупные куски и схватывая их обратно. При этом часть пылевидных частиц и мелких кусочков рассеивается в воде и падает на грунт.

В зависимости от температуры воды и активности питания рыб эти потери составляют 10–20% от общего количества корма, захватываемого рыбами. Кроме того, в процессе питания активно двигающиеся карпы могут далеко разбрасывать комбикорма от кормовых точек.

Помимо сказанного, полнота выедания вносимого в пруды комбикорма зависит от степени рациональности его нормирования, правильности определения каждой дозы раздаваемого комбикорма, пищевой активности рыб, зависящей от температуры и гидрохимических условий пруда. Немаловажное влияние оказывает способ раздачи комбикорма (кучно, регламентированная прерывистая дорожка, бессистемное внесение), кратность и временной режим.

Часть комбикорма, которую рыбы не съедают сразу, может быть использована ими в дальнейшем в виде детрита. Однако этот вопрос изучен мало. В любом случае использование дорогостоящих рыбных кормов для производства менее питательного детрита представляется нецелесообразным.

Технологические потери комбикорма. Минимальный уровень потерь комбикормов, которые неизбежны при соблюдении нормативной технологии кормления рыб в прудах, обеспечивающей нормативную рыбопродуктивность, относится к технологическим потерям. Они обусловлены агрегатным состоянием комбикорма, качеством его изготовления, а также совершенством используемой технологии кормления. Технологические потери характеризуют тот минимальный избыток комбикорма, который необходимо дополнительно внести в пруд для того, чтобы рыбы потребили его нормативное количество.

Часть технологических потерь, которая связана с качеством изготовления гранул и их агрегатным состоянием, изменяется в широких пределах. Так, гранулы сухого прессования рецептов К-110, К-111 и других водостойкостью 15 мин теряют в воде в среднем 10–15 % первоначальной массы, а рассыпной комбикорм – 30–35%. Потери комбикорма, состоящего из смеси гранул и россыпи, пропорциональны их соотношению. Потери комбикормов после экструзии и экспандирования могут быть снижены до 5%.

Потери, связанные с особенностями питания карпов, для гранул сухого прессования при оптимальных сроках поедания и температуре до 18 °С составляют около 10%, при более высокой температуре – 15–20% от внесенного. Общая величина технологических потерь комбикорма может колебаться в достаточно широких пределах – от 20 до 50% в зависимости от описанных условий.

Непроизводительные потери комбикорма. К ним относят потери, связанные с погрешностями в технологии кормления рыб. Их можно устранить путем изменения технологии кормления, в частности за счет применения оптимальной системы нормирования и коррекции количества задаваемого корма в зависимости от динамики кислородного и температурного режимов, а также использова-

ния рациональных способов внесения комбикорма, режимов его раздачи и тщательного контроля за поедаемостью.

Способы определения потерь комбикормов, а также детализированные подробности технологии кормления карповых рыб в прудах можно найти в "Методических указаниях по оценке эффективности применения комбикормов в прудовых хозяйствах на основе определения суточных рационов рыб", ВНИИПРХ [Щербина, Рекубратский, Киселев, 1987], а также в "Инструкции по кормлению сеголеток и двухлеток карпа, выращиваемых в прудовых хозяйствах [Щербина, Киселев и др., 1986].

7.2. Кормление рыб в условиях индустриальных хозяйств

В настоящее время в нашей стране основное количество промышленно производимых комбикормов предназначается для выращивания карпов в прудах. Объем выпуска отечественной кормовой продукции для индустриальной аквакультуры невелик и не соответствует потребностям рыбоводных предприятий. На сегодняшний день комбикорма для молоди наиболее ценных видов рыб и старших возрастов – лососевых и осетровых, преимущественно закупаются за рубежом – в Дании, Финляндии, Германии, Голландии. Импортные корма в основном дают хороший результат, прежде всего благодаря высокому и стабильному качеству исходного сырья и прогрессивной технологии изготовления. Вместе с тем имеются случаи поставки из-за рубежа недоброкачественной продукции с истекшим сроком хранения, содержащей окисленные жиры и другие токсичные вещества. Нередко возникают задержки в доставке кормовой продукции из-за трудностей таможенного оформления груза. Не исключены запретные меры на импорт комбикормов, налагаемые органами ветеринарного надзора, как это имело место в связи с заболеванием "коровьим бешенством".

По рыбоводно-биологическому эффекту вырабатываемые в России в настоящее время комбикорма уступают аналогичной продукции ведущих иностранных фирм. Основные причины недостаточной конкурентоспособности отечественных комбикормов связаны с низким качеством исходного сырья, прежде всего рыбной муки, прекращением выпуска некоторых высокоэффективных кормовых компонентов, вырабатывавшихся Микробиопромом, отсталостью материально-технической базы, несовершенством технологии кормопроизводства, а также отсутствием надлежащего контроля за качеством сырья и параметрами технологических процессов на комбикормовых заводах.

7.2.1. Кормление карпов в бассейнах и садках

Как было показано выше, карп при выращивании в прудах частично удовлетворяет пищевые потребности за счет потребления естественной кормовой базы. При индустриальных формах аквакультуры рыбы практически лишены такой возможности. В связи с этим комбикорма для карпа при выращивании в бассейнах и садках должны содержать увеличенное количество протеина, энергии и витаминов и быть более полноценными по их качественному составу.

В 80–90-е годы XX века в нашей стране изготавливали и в условиях индустриальных тепловодных хозяйств с хорошим результатом применяли продукционные комбикорма для карпа рецептов 12-80, 16-80, 16-82, которые были разработанны сотрудниками ГосНИОРХа под руководством И. Остроумовой. Однако в дальнейшем из-за подрыва сырьевой базы и прекращения выпуска в России паприна – одного из основных источников белка, а также гаприна и других продуктов микробиосинтеза, эти корма были сняты с производства.

В настоящее время рядом комбикормовых заводов, в частности ЗАО "Ассортимент-Агро" (г. Сергиев-Посад), вырабатываются карповые корма по рецептам ВНИИПРХа – АК-1КЭ и АК-2КЭ. Первый вид корма предназначен для кормления молоди карпа массой от 1 до 50 г. Он содержит не менее 38% протеина, 9%

жира, не более 4,5% клетчатки и дает свыше 14,2 МДж/кг обменной энергии. Второй рекомендуется для рыб массой более 50 г. В его составе находится не менее 34% протеина, 6% жира, не более 6% клетчатки и свыше 13,4 МДж/кг обменной энергии. В разных соотношениях в рецепты включаются: рыбная и мясокостная мука, продукты переработки масличных культур, кормовые дрожжи, зерновые культуры, растительное масло, моно- или дикальцийфосфаты, поливитаминный премикс ПК-П. Комбикорма вырабатываются способом экструдирования в виде плавающих или медленнотонущих гранул, размер которых устанавливается в соответствии с массой рыб (см. стр. 289). В КрасНИИРХе разработан и освоен в производстве продукционный комбикорм К-3М для тепловодного карповодства. Он не содержит рыбной муки и включает минимальное количество (5%) сырья животного происхождения, в частности мясокостной муки [Скляров, Гамыгин, Рыжков, 1984].

Принимая во внимание особенности метаболизма у рыб в холодное время года и снижение активности амилолитических ферментов вполне вероятна целесообразность обогащения комбикормов липидами, что, однако, требует проведения специальных исследований.

Нормы кормления. В период оптимальных температур для кормления молоди карпа массой до 20 г суточные нормы устанавливают в зависимости от размера рыб (табл. 93). Корм выдают порциями на протяжении светлого времени суток с периодичностью один раз в час.

Таблица 93. Суточные нормы кормления молоди карпа в бассейнах и садках, % массы рыб

Масса рыб, г	Температура воды, °С	
	22–25	26–30
1–3	25	30
3–5	15	20
5–10	11	17
10–20	8	14

Величина суточного рациона для карпов массой свыше 20 г составляет от 0,8 до 8,5 % от массы тела (табл. 94), периодичность раздачи корма – от 4 до 8 раз в день.

Таблица 94. Суточные нормы кормления карпов при товарном выращивании в тепловодных хозяйствах, % массы тела

Температура воды, °С	Масса рыб, г				
	20–50	50–100	100–250	250–500	более 500
12	2	1,6	1,3	1	0,8
15	3	2	1,6	1,2	1
18	4	3	2	1,6	1,3
21	5	4	3	2	1,6
24	6	5	4	3	2
27	7	6	5	4	2,5
30	8	7	6,5	4,5	3
33	8,5	7,5	7	5	3,5

В зимний период при температуре воды 5–6 °С кормление карпа не прекращают. При пониженных температурах воды нет необходимости использовать высокобелковые комбикорма. Достаточно применять стандартные корма для выращивания карпа в прудах, либо специальные типа КТМ, и другие, основанные на рас-

тительном сырье, которые были рекомендованы ВНИИПРХ, ГосНИОРХ, КрасНИИРХ [Гамыгин и др., 1990], либо зерносмеси [Остроумова, 1979а; Остроумова и др., 1979]. Суточный рацион в этот период должен обеспечивать лишь поддерживающий обмен и составлять 0,1–0,2%. При повышении температуры до 8 °С норму кормления увеличивают до 0,2–0,5% от массы рыб; при температуре 9–10°С – до 1%; при температуре 11–12°С – до 1,5%. Комбикорм задают 2–3 раза в день.

Более подробно вопросы применения комбикормов и технологии кормления карпов в условиях индустриальных хозяйств различных типов описаны в "Рекомендациях по применению..." Л.А. Тимошиной и И.Н. Остроумовой [1977], "Методических рекомендациях по совершенствованию ..." Ю.А. Желтова с сотрудниками [1980], "Технологии выращивания ..." В.И. Филатова с сотрудниками [1989], а также в наших "Методических указаниях..." [Гамыгин и др., 1990].

7.2.2. Кормление лососевых рыб

Лососевые рыбы как сырье для получения ценной высококачественной пищевой продукции являются важным объектом промысла и аквакультуры. На рынке они пользуются большим спросом. К семейству лососевых относятся проходные и пресноводные рыбы Северного полушария, обитающие главным образом в бассейнах рек Северного Ледовитого океана и северной части Тихого и Атлантического океанов. Некоторые виды акклиматизированы в водах Южного полушария.

Основу промысла и товарной аквакультуры лососевых рыб составляют два рода – тихоокеанские и атлантические лососи. Это проходные, моно- или полициклличные, нагуливающиеся в море и нерестящиеся в пресноводных водоемах, а также чисто пресноводные виды. Молодь проходных лососей по достижению покатной стадии (смолтификации), наступающей в зависимости от видовой принадлежности в период от нескольких недель до 2–3 лет жизни, мигрирует в море. В море лососи растут значительно быстрее большинства других рыб, прибавляя в год до 0,7–1,0 кг.

Молодь лососевых рыб в естественных условиях питается зоопланктоном и бентосом, взрослые особи потребляют рыбу, ракообразных, личинок крупных насекомых. Лососи не прекращают питаться и при низких температурах воды (1–2 °С). С повышением температуры воды за пределы оптимума (более 20 °С) активность их питания снижается.

Аквакультура лососевых рыб включает заводское воспроизводство молоди и товарное выращивание. Основными объектами искусственного воспроизводства из тихоокеанских лососей являются кета и горбуша, из атлантических – семга. В меньших объемах на рыбоводных заводах выращивают молодь кижуча, нерки, чавычи, симы.

Главные объекты товарной аквакультуры лососевых рыб – радужная форель и семга. В последние годы получает распространение товарное выращивание кижуча в морской воде, например, в Чили. В перспективе – освоение технологии товарного производства чавычи и нерки.

Лососевые рыбы требовательны к кислородному режиму. Содержание в воде кислорода при их выращивании должно быть не менее 7 мг/л. При более низком уровне кислорода рост рыб ухудшается, а эффективность использования пищи снижается. Оптимальная температура воды при выращивании лососевых рыб составляет 14–18 °С.

Товарную радужную форель можно с успехом выращивать не только в пресной, но и в соленой воде. Более того, морская вода стимулирует рост рыб.

При промышленном выращивании лососевых рыб как для целей товарного производства так и для воспроизводства, наибольшее распространение получили комбикорма, представленные в сухом виде (гранулированные, экструдированные, экспандированные), хотя в ограниченных масштабах применяются и влажные корма (пастообразные, влажные гранулы).

Отечественной промышленностью, в частности ЗАО "Ассортимент-Агро", освоено производство полноценных комбикормов для всех возрастных групп ра-

дужной форели – от личинок до производителей [Шоль, Гамыгин, 2001]. Для выращивания молоди с момента перехода на внешнее питание до массы 10–15 г используется стартовый корм АК-1ФС рецептуры ВНИПРХ. Он относится к категории малокомпонентных, то есть характеризуется небольшим набором сырья высокой питательности, что удобно для производства и легче контролируется. Корм включает рыбную и кровяную муку, витазар, рыбий жир и витаминно-минеральный премикс ПФ-3В. Он содержит не менее 53% протеина, 13% жира, до 1,5% клетчатки, не более 10% золы и свыше 15,9 МДж/кг обменной энергии. В его состав могут быть введены крабовая или крилевая мука и кукурузный глютен с сохранением основных показателей качества корма. Исследованиями последних лет была установлена эффективность включения в стартовые комбикорма 1,5–3,0% крабового жира в целях обогащения его полиненасыщенными жирными кислотами и каротиноидами [Багров и др., 2005].

Комбикорм данной рецептуры может применятся и для выращивания молоди атлантического лосося, хотя более высокий результат достигается при его обогащении рыбным ферментолизатом. Такую продукцию выпускает ГУП "Гипрорыбфлот-Экос" (г. Ивангород) с использованием сырья собственного производства и технологии экструдирования [Бойков, Мухленов, и др., 2001].

Для личинок и мальков дальневосточных лососей рекомендуется стартовый корм рецепта ЛС-НТ, разработанный С.В. Пономаревым, который состоит из рыбной, крабовой, кровяной, пшеничной и водорослевой муки, витазара, сухого обрата, рыбьего жира, витаминно-минерального премикса и кормовой добавки "Бетафин" [Пономарев, Пономарева, 2003]. В отличие от комбикормов, для других видов лососевых рыб данный корм характеризуется меньшим содержанием липидов (в пределах 8–11%) при относительно высоком уровне протеина – 53–55%, а также включает повышенные дозы витаминов. Производство стартового комбикорма ЛС-НТ организовано в промышленных масштабах на специализированных линиях в системе Сахалинрыбвода (о. Сахалин) и в ТИНРО-центре (г. Владивосток) для обеспечения потребностей рыбоводных заводов по воспроизводству дальневосточных лососей. По рыбоводно-биологической эффективности эти комбикорма не уступают зарубежным аналогам, хотя выпуск отечественной продукции осуществляется по технологии сухого прессования, тогда как импортные корма вырабатываются по технологии экструдирования.

Ряд зарубежных компаний ("Биомар", "Аллер Аква") рекомендуют для ранних стадий выращивания молоди лососевых рыб стартовые корма, которые содержат 60–65% протеина и 12–16% жира, созданные на основе высокопитательной рыбной муки низкотемпературной сушки (LT-94).

Кормление личинок радужной форели и тихоокеанских лососей начинают при их подъеме на плав, когда желточный мешок рассасывается на 50%. Личинкам атлантического лосося корм задают при рассасывании желточного мешка на 30% первоначальной величины, когда личинки еще лежат на дне бассейна. Задержка с началом кормления приводит к существенному ухудшению рыбоводно-биологических показателей выращивания. Размер кормовых частиц должен соответствовать массе рыб. Рекомендуемый размер гранул (крупки) для форели и лосося разной массы приведен ниже.

Масса рыб, г	Размер крупки (гранул)
до 0,2	0,2–0,6 или 0,4–0,6
0,2–1,0	0,6–1,0
1–2	1,0–1,5
2–5	1,5–2,5
5–15	2,0–3,0

Величину суточного рациона устанавливают с учетом температуры воды и массы рыб, хотя в зависимости от их состояния, активности и условий содержания она может колебаться в пределах ± 20% от норм, указанных в табл. 95–97.

При использовании автокормушек частота кормления рыб может быть увеличена.

Таблица 95. Суточные нормы кормления личинок и мальков форели стартовыми комбикормами, % массы тела

Температура, °С	Масса рыб, г				
	до 0,2	0,2–0,5	0,5–2	2–5	5–10
2	3,7	3,2	2,5	1,8	1,5
4	4,2	3,7	2,9	2,1	1,8
6	4,8	4,3	3,3	2,5	2,2
8	5,7	5,0	3,8	2,9	2,6
10	6,5	5,9	4,4	3,4	3,0
12	7,5	6,9	5,2	4,1	3,5
14	8,6	7,8	6,1	4,7	4,1
16	9,4	8,3	6,7	5,3	4,8
18	9,8	8,7	7,4	5,7	5,2
20	9,0	8,1	6,5	5,1	4,4

Таблица 96. Суточные нормы кормления личинок и мальков атлантического лосося стартовыми комбикормами, % массы тела

Температура воды, °С	Масса рыб, г				
	до 0,2	0,2–1	1–5	5–10	10–20
2	1,8	1,2	0,9	0,6	0,4
4	3,1	2,2	1,5	1,1	0,8
6	4,4	3,2	2,1	1,6	1,2
8	5,5	3,8	2,5	2,0	1,7
10	6,0	4,2	2,9	2,2	2,1
12	6,3	4,4	3,0	2,3	2,2
14	6,5	4,5	3,2	2,4	2,3
16	6,6	4,6	3,3	2,5	2,4
18	6,7	4,7	3,4	2,6	2,5
20	6,5	4,5	3,2	2,3	2,2

Таблица 97. Суточные нормы кормления молоди тихоокеанских лососей стартовыми комбикормами, % массы тела

Температура воды, °С	Масса рыб, г					
	до 0,3	0,3–0,8	0,8–2	2–5	5–12	12–25
2	1,1	1,0	0,8	0,6	0,6	0,5
4	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6
6	2,0	1,8	1,6	1,4	1,0	0,8
8	2,5	2,2	2,0	1,8	1,5	1,2
10	3,5	3,2	3,0	2,6	2,3	2,0
12	4,0	3,8	3,5	3,0	2,7	2,3
14	4,5	4,2	4,0	3,5	3,0	2,5
16	5,5	4,7	4,4	4,0	3,4	2,9
18	6,0	5,0	4,5	4,1	3,6	3,0

Молодь проходных лососей следует кормить чаще, чем форель (табл. 98).

Таблица 98. Частота кормления лососевых рыб

Масса рыб, г	Число кормлений в сутки	
	Форель	Проходные лососи
До 0,2	12	24
0,2–1	10	18
1–2	9	12
2–5	8	10
5–20	6	8

Для товарного выращивания форели и лосося используют продукционные комбикорма, которые в отличие от стартовых содержат меньшее количество протеина, но больше липидов. До последнего времени в нашей стране выпускались продукционные экструдированные комбикорма для форели с недостаточно высоким уровнем жира, что было связано с несовершенством оборудования комбикормовых заводов и технологий его введения. Базовые рецептуры этих кормов (АК-1ФП и АК-2ФП) разработаны во ВНИИПРХе. Они включают рыбную муку, витазар, рыбий жир, витаминно-минеральные премиксы. Корма содержат 40–45% протеина и 13–15% жира.

В 2004 г. Сергиево-Посадский комбикормовый завод освоил новую технологию добавки жира в готовый продукт, установив вакуумный обмасливатель собственной конструкции, что позволило увеличить количество вводимого жира до 18–22%. Поэтому модифицированные рецептуры кормов АК-1ФП и АК-2ФП, в которые дополнительно был включен кукурузный глютен, при уровне протеина 40–45% содержат не менее 18% общего жира. Кроме того, осваивается производство новых, высокоэнергетичных продукционных комбикормов для форели и лосося АК-3ФП (протеина 42%, жира 22%) и АК-4ФП (соответственно 40 и 27%), которые рекомендуются для хозяйств с оптимальными условиями выращивания рыб. Эти корма способны обеспечить максимальный рост рыб при низких кормовых затратах (до 0,9–1,1 ед.).

В целях окрашивания мяса лососевых рыб в естественный розовый цвет в комбикорма добавляют каротиноиды – астаксантин или его смесь с кантаксантином. Интенсивность пигментации зависит от продолжительности использования пигмента и его концентрации в корме (табл. 99). Оптимальное содержание астаксантина в корме составляет 40–50 мг/кг. В этом случае период окрашивания мяса равен 7–10 неделям в зависимости от размера рыб и условий среды [Маслобойщиков, Гамыгин, 1998].

Таблица 99. Зависимость между количеством астаксантина в корме и периодом окрашивания мышц у форели

Условия, необходимые для окрашивания мышц	Количество астаксантина в корме, мг/кг			
	25	50	75	100
Период:				
градусо-дней (собственные данные)	1200	900	840	830
недель при 10 °С (собственные данные)	17	13	12	11
недель при 15 °С (собственные данные)	11–12	8–9	7–8	6–7
недель (данные “Хоффман Ля Рош”)	14–16	8–14	4–8	4
недель (данные “Крафтфуттерверк”)	–	7–9	5–6	–
Коэффициент конверсии каротиноидов, %	10	5	3	2

Величину суточного рациона комбикорма определяют с учетом температуры воды и размера рыб (табл. 100). Эти нормы следует рассматривать как ориентировочные, они могут колебаться в пределах ±10–20% от табличных значений в зависимости от состояния рыб и условий среды.

Таблица 100. Суточные нормы кормления форели продукционными комбикормами, % массы рыб

Температура воды, °С	Масса рыб, г				
	10–40	40–100	100–200	200–1000	более 1000
2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
4	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5
6	1,5	1,2	1,0	0,7	0,6
8	1,8	1,4	1,2	0,9	0,6
10	2,1	1,6	1,4	1,1	0,7
12	2,4	1,9	1,6	1,3	0,9
14	2,7	2,1	1,8	1,5	1,0
16	3,2	2,4	2,1	1,7	1,1
18	3,6	2,7	2,3	1,9	1,2
20	3,0	2,1	1,9	1,6	1,0

Размер гранул продукционных комбикормов должен соответствовать массе рыб.

Рекомендуемый размер гранул продукционных кормов для форели разной массы приведен ниже.

Масса рыб, г	Размер гранул, мм
15–50	2,5–3,2
51–200	3,5–4,5
201–1000	5,0–6,0
Более 1000	7,0–9,0

Взрослую форель следует кормить не реже 3–6 раз в сутки.

В 2005 г. на базе ОАО "Подберезский комбинат хлебопродуктов" была введена в эксплуатацию линия производства комбикормов для рыб с использованием оборудования фирмы "Амандус Кааль". На этом предприятии комбикорма вырабатывают способами экструдирования и экспандирования по рекомендациям ВНИИПРХ. Для выращивания форели предлагаются продукционные комбикорма, содержащие 45% протеина и 18% жира. По результатам опытных и производственных испытаний расход кормов для получения 1 кг прироста форели составляет от 0,8 до 1,2 кг при обеспечении высокой скорости роста и жизнестойкости. В состав комбикормов включают 40–50 мг/кг астаксантина в виде препарата "Карофилл Пинк" производства швейцарской компании "Хофман Ля Рош".

Зарубежные комбикорма для форели и лосося характеризуются более высокой энергетической обеспеченностью за счет увеличенного содержания жира, что достигается применением соответствующей технологии и оборудования для вакуумного обмасливания. Так например, выпускаемые датской фирмой "Аллер Аква" продукционные комбикорма для лососевых рыб при уровне протеина 40–46% содержат от 15 до 32% липидов и 23–24 МДж/кг валовой энергии. Аналогичными показателями характеризуются корма финской фирмы "Реху Расио". За счет высокой энергетической ценности эти корма позволяют обеспечивать хороший рост рыб при низких кормовых затратах.

Для производителей радужной форели используют специальные комбикорма рецептуры ВНИИПРХ АК-1ФРМ и АК-2ФРМ, также выпускаемые ЗАО "Ассорти-

мент-Агро". Они основаны на рыбной муке и витазаре, обогащены витаминным премиксом, содержат витамин Е естественного происхождения, в них 50–52% протеина и 10–12% жира. Корм АК-1ФРМ используется для маточного стада в период роста и нагула рыб, а АК-2ФРМ начинают применять за 4 месяца до нереста. Он имеет в своем составе астаксантин, необходимый для формирования качественных половых продуктов. Размер гранул этих комбикормов 6–9 мм.

Техника применения сухих гранулированных комбикормов при выращивании товарной форели подробно описана в "Рекомендациях ..." И. Остроумовой [1974 и 1977], "Руководстве по кормлению радужной форели..." А. Канидьева и Е. Гамыгина [1977], "Инструкции по разведению..." А. Канидьева с соавторами [1985] и "Методических указаниях..." [Гамыгин и др., 1990].

7.2.3. Кормление осетровых рыб

Осетровые рыбы принадлежат к числу наиболее ценных промысловых видов. Это уникальные реликтовые рыбы, пережившие миллионы лет эволюции и приспособившиеся к самым разнообразным экологическим условиям. На протяжении многих столетий Россия занимала ведущее место в мире по запасам и вылову осетровых. Их промысел велся в бассейнах Каспийского, Азовского, Черного морей, в реках Сибири и Дальнего Востока. Еще в 70-е годы XX века ежегодный вылов превышал 30 тыс. тонн, основная доля которого (свыше 80%) приходилась на Каспийский регион. Однако в настоящее время осетровые рыбы, являющиеся не только национальным достоянием, но и общемировым богатством, оказались в катастрофической ситуации. По данным официальной статистики уже к 2000 г объем вылова осетровых составил менее 1 тыс. тонн. Природные популяции этих рыб находятся в крайне депрессивном состоянии. Полностью потеряли промысловое значение и занесены в Красную книгу России атлантический, сахалинский, обский и байкальский осетры, калуга и амурский осетр, азовская белуга, каспийский шип, стерлядь бассейнов рек Днепр, Дон, Кубань, Урал, Кама.

Такое положение сложилось в силу ряда причин. К основным из них относятся снижение или полное прекращение естественного воспроизводства в результате гидростроительства, ухудшения экологической обстановки, нерационального промысла. В последние годы положение еще более ухудшилось из-за беспрецедентного браконьерства, в том числе международного, которое получило наиболее интенсивное развитие после распада СССР.

В 60–70-е годы XX века в нашей стране сложилось управляемое осетровое хозяйство, практическая деятельность которого состояла в пополнении естественных популяций рыб путем выпуска в водоемы искусственно выращенных на рыбоводных заводах мальков осетровых. В СССР промысел и пополнение запасов осетровых рыб в Волго-Каспийском бассейне находились в состоянии достаточно стабильного динамического равновесия. Система эксплуатации промысловых запасов осетровых приближалась к модели пастбищного рыбоводства с участием естественной репродукции. Это позволило восстановить естественное стадо осетровых, которое поддерживалось за счет искусственного воспроизводства для белуги – на 100%, для русского осетра – на 80%, для севрюги – на 40%. После распада СССР положение коренным образом изменилось, так как был утрачен действенный контроль за промыслом осетровых.

В ситуации резкого ухудшения состояния запасов осетровых в естественных водоемах особое значение приобрели методы товарного осетроводства, то есть производства товарной продукции осетровых в управляемых условиях промышленной аквакультуры. Это позволяет не только снизить промысловую нагрузку на естественные популяции, но и гарантированно спасти этих ценнейших представителей ихтиофауны от угрозы полного исчезновения. Создание в аквакультуре живого генофонда в виде маточного поголовья практически всех видов осетровых дает возможность в дальнейшем восстановить численность этих рыб в естественной среде обитания.

В природных условиях молодь осетровых рыб питается беспозвоночными, взрослые особи большинства видов – моллюсками и рыбой. Как правило, рыбы ведут донный образ жизни. Характер питания осетровых в естественной среде обитания, а также их эколого-физиологические особенности учитываются при организации рационального кормления на рыбоводных предприятиях.

Оптимальный температурный режим при выращивании осетровых рыб находится в пределах 20–26 °С. При температуре воды ниже 10 °С и выше 30 °С активность питания падает. Осетровые рыбы относятся к эвригалинным. Соленая вода стимулирует потребление пищи и рост взрослых рыб.

Для выращивания личинок и мальков осетровых рыб до массы 3–5 г используют стартовые комбикорма, разработанные коллективом сотрудников Астраханского государственного технического университета и Научно-технического центра "Астаквакорм" под руководством С.В. Пономарева [Пономарев, Гамыгин и др., 2002], а также корма, созданные в АзНИИРХе под руководством Н.А. Абросимовой [Щербина, Абросимова, Сергеева, 1985; Абросимова, Гамыгин, Белов и др., 1989; Абросимова, 1997]. Так, например, корм ОСТ-5 включает рыбную и кровяную муку, витазар, сухой обрат, соевый шрот, рыбий жир, витаминно-минеральный премикс ВМП ПО-5 [Пономарев, Гамыгин, и др., 2002] и содержит не менее 51% протеина и 11% жира.

Последними исследованиями была показана эффективность введения в корм каротиноидного препарата "Витатон" – источника природного β-каротина в количестве 400–500 мг/кг [Гамыгин, Тюренков и др., 2004].

Комбикорм ОСТ-5 целесообразно применять в сочетании с живыми кормовыми организмами. Более эффективной является новая рецептура стартового корма ОСТ-6, содержащего рыбный гидролизат, который не требует в обязательном порядке дополнительного использования живых кормов. Модификации этого корма освоены производством ГУП «Гипрорыбфлот-Экос» (г. Ивангород).

Стартовые комбикорма начинают задавать свободным эмбрионам, вставшим на плав, еще до выталкивания пигментной пробки с целью приучения и выработки положительной пищевой реакции. Период адаптации к комбикормам продолжается 2–4 сут., причем одновременно с искусственным кормом следует задавать мелкие формы зоопланктона или науплии артемии. Использование олигохет при выращивании молоди до массы 0,2–0,3 г не рекомендуется из-за возможного дисбаланса основных питательных веществ в рационе.

Комбинированное кормление личинок и мальков осетровых рыб осуществляется с учетом норм внесения искусственных и естественных кормов (табл. 101).

Таблица 101. Суточные нормы кормления осетровых рыб стартовыми комбикормами, % массы тела

Температура воды, °С	Масса рыб, г				
	до 0,1	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–1,5	1,5–3,0
12	14	12	11	8	6
14	16	14	13	9	7
16	18	16	15	11	8
18	21	19	16	12	10
20	23	21	18	14	12
22	25	23	20	16	13
24	27	25	22	17	14
26	30	27	24	17	14
28	27	24	21	15	12

В зависимости от вида и физиологического состояния рыб, конкретных условий их выращивания суточная норма может колебаться в пределах ± 15–30% от значений, указанных в таблице.

Суточные нормы добавок естественных кормовых организмов к стартовым комбикормам (при температуре воды 10–27 °С) приведены ниже, % массы тела.

Масса рыб, г	Количество и вид кормовых организмов
до 0,06	50 (мелкие дафнии) или 35 (артемия)
0,06–0,3	35 (дафнии и артемия)
0,3–0,5	25 (1/4 дафнии, 1/2 олигохеты и 1/4 калифорнийские черви)
0,5–1,5	20 (1/2 олигохеты, 1/2 калифорнийские черви)
1,5–2,0	15 (калифорнийские черви)

Следует придерживаться соответствия размера задаваемых кормовых частиц массе выращиваемой молоди. Рекомендуемые размеры крупки для молоди осетровых рыб разной массы указаны ниже.

Масса рыб, г	Размер крупки, мм
до 0,1	0,1–0,4
0,1–0,5	0,4–0,6
0,5–1,2	0,6–1,0
1,2–2,5	1,0–1,5
2,5–5,0	1,5–2,5

Личинок массой менее 0,1 г следует кормить вручную 20–25 раз в светлое время суток, мальков массой 0,1–0,3 г – 10–15 раз, более крупную молодь – 6–8 раз. При использовании автоматических кормораздатчиков кратность кормления целесообразно увеличить в 2 раза. Весьма эффективным является применение ленточных кормораздатчиков непрерывного действия.

По достижении рыбами массы 3 г их переводят на кормление продукционными комбикормами рецептов ОТ-6, ОТ-7 и ОТ-8, разработанных специалистами АГТУ, которые также освоены отечественной промышленностью. Рецептура этих комбикормов включает рыбную, мясную, кровяную муку, кукурузный глютен, соевый шрот, продукты микробиосинтеза, пшеницу, витазар, рыбий жир и растительное масло, витаминно-минеральный премикс, порошкообразный препарат "Витатон". При необходимости увеличения водостойкости гранул в их состав добавляют лигносульфонат или крахмал [Гамыгин, Щербина и др., 2004].

В составе этих продукционных комбикормов 40–45% протеина и 12–13% жира. Как видно, по сравнению с кормами для лососей осетровые комбикорма содержат меньшее количество липидов. Наблюдения показали, что при температуре воды, превышающей оптимальные значения, большое количество жира в комбикормах может привести к ухудшению результатов выращивания рыб, поэтому в такой ситуации следует применять комбикорма с пониженным (до 6–8%) уровнем жира. В то же время в диапазоне оптимальных и пониженных ростовых температур имеются наблюдения и практический опыт, которые свидетельствуют, что увеличение содержания жира в осетровых кормах до 15–18% приводит к повышению эффективности выращивания рыб. С учетом этого ОАО "Подберезский комбинат хлебопродуктов" стал вырабатывать опытно-промышленные партии комбикормов для осетровых рыб с уровнем липидов 18%. В целом, вопрос об оптимальном количестве жира в кормах для осетровых требует дальнейших исследований, поскольку он связан с необходимостью оценки влияния как абиотических условий, так и качественных особенностей источников жира на липидный и общий обмен у рыб.

Продукционные комбикорма для осетровых вырабатываются как в гранулированном (с экспандированием или без него), так и в экструдированном виде, причем размер гранул должен соответствовать массе рыб.

Рекомендуемое соотношение между размером гранул и массой осетровых рыб приведено ниже.

Масса рыб, г	Размер гранул, мм
5–20	2,0–3,0
20–50	3,0–3,5
50–200	3,5–4,5
200–400	5,0–6,0
более 400	6,0–8,0

Величина суточного рациона комбикормов дана в табл. 102, причем, как это указывалось выше, нормы являются ориентировочными и могут уточняться применительно к условиям рыбоводного хозяйства.

Таблица 102. Суточные нормы кормления осетровых рыб продукционными комбикормами, % массы тела

Масса рыб, г	Температура воды, °С			
	12–17	17–20	20–24	24–28
3–50	4–5	5–6	6–7	5–6
50–100	3–4	3,5–4	4–5	3–4
100–200	3–3,5	3,5–4	4–4,5	3–4
200–300	2,5–3	3–3,5	3,5–4	2,5–3,5
300–400	2–2,5	3–3,5	3,5–4	2,5–3,5
400–500	1,5–2	2–2,5	2,5–3	2–2,5
500–1500	1–1,5	1,5–2	2–2,5	1–1,5
Более 1500	0,5–1	1	1–1,5	0,5–1

Для ремонтно-маточных стад осетровых рыб рекомендуется использовать комбикорм специализированного рецепта РГМ-9ПО, разработанный специалистами ВНИИПРХ [Гамыгин, Сычев, 1999]. В его состав входят рыбная и кровяная мука, витазар, соевый шрот, обезжиренное сухое молоко, кукурузный глютен, рыбий жир, витаминно-минеральный премикс ВМП ПО-5 и дикальцийфосфат. Корм содержит не менее 52% протеина, 12% липидов, до 1,5% клетчатки, не более 11,5% золы и не менее16,07 МДж/кг обменной энергии. Этот тип комбикорма для производителей вырабатывается в виде гранул и тонущих экструдатов диаметром 6–9 мм. Величина суточного рациона составляет 0,4–0,8% от массы тела рыб.

7.2.4. Кормление канального сома

Канальный сом – представитель североамериканской ихтиофауны. В настоящее время в результате разработки и освоения методов разведения и выращивания он получил достаточно широкое распространение в ряде стран мира. Так, например, в США он является основным объектом товарного рыбоводства. Сома выращивают в прудах, бассейнах и садках, установленных в различных водоемах. Также он используется для целей спортивного рыболовства. Ценность канального сома как объекта аквакультуры определяют быстрый рост, хорошее потребление и эффективное использование комбикормов, экологическая пластичность и приспособляемость к различным условиям содержания, в том числе к высокой плотности посадки, отличные вкусовые качества. За высокие пищевые качества его называют тепловодным аналогом форели.

Канальный сом – рыба теплолюбивая. Температурный оптимум находится в пределах 25–30 °С. В то же время он достаточно хорошо переносит зимние условия обитания подо льдом в течение 3-4 месяцев. Канального сома можно выращивать как в пресной, так и в солоноватой воде с соленостью до 10–11‰. Данный вид рыб достаточно требователен к содержанию растворенного в воде кислорода, уровень которого должен быть не менее 4–5 мг/л.

По характеру питания канальный сом принадлежит к полифагам. В естественных условиях молодь потребляет зоопланктон и бентос, взрослые особи питаются личинками насекомых (стрекоз, поденок, ручейников, хирономид), моллюсками и рыбой.

К настоящему времени технология выращивания и кормления разновозрастных групп канального сома в условиях индустриальных хозяйств РФ достаточно отработана [Виноградов, 2002; Калмыков, 2002; Пономарев и др., 2002]. Для со-

ма, как и для других объектов аквакультуры, процесс кормления является одним из основных факторов, определяющих эффективность его разведения. Ранее, в 80–90-е годы XX века, для его выращивания успешно применяли комбикорма СБ-1 и СБ-3, созданные в КрасНИИРХе [Гамыгин и др., 1989]. Однако в связи с прекращением производства этаноловых дрожжей, которые были одним из основных компонентов этих комбикормов, их выпуск был приостановлен. Последующие разработки и усовершенствования рецептур кормов для канального сома учитывали выявленные ранее особенности питания этого вида рыб. Принимая во внимание современные изменения на рынке сырья, для комбикормов были созданы новые рецептуры, которые освоены ЗАО "Ассортимент-Агро". Так, для выращивания личинок и мальков до массы 5 г предложен стартовый корм АК-1СС рецептуры ВНИИПРХ, который содержит рыбную и кровяную муку, витазар, гидролизные дрожжи, рыбий жир и витаминно-минеральную смесь. В составе корма находится не менее 45% протеина, 9% жира, не более 2% клетчатки и 10% золы и свыше 14,44 МДж/кг обменной энергии. Этот корм имеет вид крупки величиной от 0,2 до 2,5 мм, каждый размер которой предназначен для молоди определенной массы.

Рекомендуемый размер крупки для молоди канального сома разной массы указан ниже.

Масса рыб, г	Размер крупки, мм
до 0,1	0,2–0,4
0,1–0,3	0,4–0,6
0,3–1,0	0,6–1,0
1–2	1,0–1,5
2–5	1,5–2,5

Нормирование комбикормов для молоди сома осуществляется с учетом температуры воды и массы рыб (табл. 103). Нормы кормления могут быть скорректированы с учетом конкретных условий содержания рыб в хозяйствах. Личинок и мальков канального сома следует кормить 8–12 раз в светлое время суток, строго контролируя поедаемость комбикормов.

Более высокий рыбоводный результат может быть получен при совместном использовании искусственных и естественных кормов, особенно на ранних стадиях развития молоди.

Таблица 103. Суточные нормы кормления молоди канального сома стартовыми комбикормами, % массы тела

Температура воды, °С	Масса рыб, г			
	до 0,1	0,1–0,6	0,6–2	2–5
9	4,0	3,7	3,5	3,3
12	6,0	5,5	5,0	4,0
15	8,0	6,5	5,5	4,5
18	10,0	8,0	6,0	5,0
21	16,0	10,0	8,0	6,0
24	22,0	15,5	11,0	8,0
27	28,0	22,5	16,0	12,0
30	30,0	24,0	18,0	13,0

Для выращивания канального сома массой от 5 до 50 г применяется экструдированный корм индекса АК-1СЭ, в состав которого входит 30% компонентов животного происхождения (рыбная и мясная мука), 15% продуктов микробиосинтеза (гидролизные дрожжи), около 50% растительного сырья (соевый и подсолнечный шроты, пшеница), рыбий жир, моно- или дикальцийфосфаты, вита-

минно-минеральный премикс. Данный корм содержит не менее 40% протеина и 7% жира, не более 10% золы и 5% клетчатки, свыше 14,02 МДж/кг обменной энергии.

По мере роста сома требования к белковой и энергетической обеспеченности рациона снижаются. Кроме того, допускается уменьшение содержания в кормах компонентов животного происхождения с целью их удешевления, что происходит без потерь их продуктивных свойств. Так, для рыб массой более 50 г рекомендуется продукционный экструдированный комбикорм индекса АК-2СЭ, в котором доля рыбной и мясной муки снижена до 17%. Он содержит 32% протеина, 5% жира и 13,18 МДж/кг обменной энергии. В качестве источника жиров допускается использование растительного масла.

Размер гранул (экструдатов) должен соответствовать массе рыб. Рекомендуемый размером гранул продукционных комбикормов для канального сома разной массы приведен ниже.

Масса рыб, г	Диаметр гранул, мм
5–50	3,0–3,5
50–100	4–5
100–400	5–6
400–1000	6–7
более 1000	8–9

Суточный рацион рассчитывают, исходя из температуры воды и массы сома (табл. 104).

Кратность кормления взрослых рыб составляет от 2 до 6 раз в день. Затраты экструдированных комбикормов для получения 1 кг прироста канального сома колеблются в пределах 1,5–2,0 кг, гранулированных – на 20–30% больше.

Таблица 104. Суточные нормы кормления канального сома продукционными комбикормами, % массы тела

Температура воды, °С	Масса рыб, г					
	5–15	15–40	40–100	100–250	250–500	более 500
9	2,5	2,3	2,1	1,8	1,5	1,3
12	3,0	2,7	2,3	1,9	1,6	1,5
15	3,5	3,1	2,6	2,2	1,9	1,7
18	4,2	3,7	3,1	2,7	2,3	2,0
21	5,0	4,3	3,9	3,3	2,7	2,5
24	6,5	5,1	4,6	4,0	3,3	2,9
27	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,4
30	10,0	9,5	8,0	6,0	5,0	4,0

Согласно рекомендациям специалистов США, при температуре воды выше 18 °С для канального сома целесообразно применять экструдированные плавающие комбикорма, при температуре 16–18 °С предпочтительно смешивать медленнотонущий корм с плавающим, а ниже 16°С – использовать тонущие гранулы, что связано с пищевым поведением рыб этого вида [Wurts, 2001].

7.3. Нормативно-техническая документация на комбикорма для рыб

Производство комбикормовой продукции на промышленных предприятиях регламентируется нормативно-технической документацией, к которой относятся государственные, отраслевые стандарты и технические условия (ТУ). В настоящее время на территории Российской Федерации действует государственный стандарт на наиболее массовую кормовую продукцию для аквакультуры – "Комбикорма для прудовых карповых рыб" (ГОСТ 10385-88), а также новый ГОСТ Р 52346-2005 "Комбикорма для рыб. Номенклатура показателей", введенный в действие с 01.07.2006 г. Специальные виды комбикормов, предназначенные для лососевых, осетровых, сомовых рыб, а также для карпов, выращиваемых в бассейновых и садковых условиях, вырабатываются по ТУ.

ВНИИПРХ совместно с КрасНИИРХом разработал четыре вида новых ТУ, предназначенных для использования в промышленном кормопроизводстве и для контроля за их качеством в рыбоводных хозяйствах:

– комбикорма для лососевых рыб (ТУ 9296-002-13250589-2002);
– комбикорма для осетровых рыб (ТУ 9296-003-13250589-2002);
– комбикорма для карпов при выращивании в индустриальных условиях (ТУ 9296-004-13250589-2002);
– комбикорма для канального сома при выращивании в индустриальных условиях (ТУ 9296-001-13250589-2002).

ТУ включают шесть разделов: технические требования; правила приемки; методы контроля; требования безопасности; упаковка, маркирование, транспортирование и хранение; гарантии изготовителя.

В ТУ заложены характеристики и нормы основных органолептических и физико-химических показателей качества, а также безопасности продукта, которые определяют физиологическое действие, питательность и продукционные свойства комбикормов, а также учитывают морфобиологические особенности рыб.

В ТУ впервые предусмотрены и дифференцируются нормы и характеристики по двум категориям комбикормов: "оптимальные" и "экономичные". К первой категории относят комбикорма, применяющиеся в оптимальных условиях содержания рыб, когда их использование дает хорошие результаты. Комбикорма этой категории характеризуются повышенной питательностью по сравнению с комбикормами второй категории. Они насыщены протеином, липидами и незаменимыми аминокислотами; имеют более жесткие ограничения по содержанию сырой клетчатки и крошимости. При соблюдении надлежащей технологии кормления затраты комбикормов на единицу прироста массы категории "оптимальные" для лососевых и осетровых рыб составляют от 1,0 до 1,3 ед.; при выращивании карповых, сомовых – 1,5–1,7 ед.

Комбикорма категории "экономичные" рекомендуются для таких рыбоводных хозяйств, где абиотические условия среды (температурный, газовый, гидрологический и гидрохимический режимы и т.д.) не являются оптимальными и подвержены значительным колебаниям даже в течение одного сезона. Затраты таких комбикормов составляют до 1,5–1,8 ед. (лососевые, осетровые) и 2,0–2,5 ед. (карповые, сомовые). Применение в этих условиях более питательных, и соответственно, более дорогих "оптимальных" комбикормов нецелесообразно, так как приводит лишь к повышенному расходу питательных веществ на прирост массы рыб и увеличению себестоимости производства рыбой продукции.

Обе категории комбикормов подразделяются на три вида: стартовые – для выращивания личинок и мальков; продукционные – для выращивания товарных рыб и репродукционные – для ремонтно-маточных стад. Требования к ним различаются и определяются морфофизиологическими особенностями разводимого вида рыб на той или иной стадии развития.

С целью минимизации непроизводительных потерь комбикормов при транспортировке, хранении и раздаче введены ограничения по крошимости: в зависи-

мости от категории продукта она должна быть не выше 3–5% (для гранулированных) и 2–3% (для экструдированных).

Крайне важным и необходимым для рыбоводства является такой показатель, как водостойкость гранул. В связи с особенностями пищевого поведения рыб комбикорма для лососевых, карповых и сомовых должны иметь водостойкость не менее 20 мин, для осетровых, обладающих, как правило, пониженной пищевой активностью, – не менее 30 мин.

Обязательное условие производства качественных кормов – более тонкое, чем для сельскохозяйственных животных, измельчение исходного сырья. Крупность помола влияет на степень усвоения организмом рыб содержащихся в корме питательных веществ, а также на адгезивные свойства гранул. По вышеперечисленным ТУ крупность помола рассыпной кормосмеси при изготовлении крупки должна соответствовать остатку на сите с отверстиями диаметром 0,315 мм не более 10%, для гранул и экструдатов диаметром от 2 до 5 мм остаток на сите с отверстиями 0,63 мм должен составлять не более 10%, при диаметре свыше 5 мм – остаток на сите с отверстиями 1,0 мм – должен быть не более 10%.

Согласно требованиям в перечисленных ТУ, корма для лососевых и осетровых рыб должны иметь наиболее высокий уровень протеина, что определяется физиологической потребностью организма этих рыб. Причем, в максимальной степени протеином должны быть насыщены стартовые корма (не менее 50% в "оптимальных" и 45% в "экономичных"). Содержание протеина в продукционных комбикормах более низкое, но и оно не должно опускаться ниже 42 и 38% соответственно. Комбикорма для производителей должны иметь в своем составе не менее 50% протеина.

В стартовых кормах для канального сома и карпа уровень протеина должен составлять не менее 45%, в продукционных кормах категории "оптимальные" – не ниже 33–38% (в зависимости от массы рыб), в категории "экономичные" – 28–33%.

Минимальный уровень жира в комбикормах для лососевых и осетровых рыб не должен быть ниже 10–12% в кормах категории "оптимальные" и 8–10% – в кормах категории "экономичные". Содержание жира в комбикормах для карпа и сома ниже.

В связи с тем, что лососевые и осетровые рыбы практически не могут переваривать клетчатку, ее содержание в кормах для молоди и производителей в зависимости от категории не должно превышать 1,5–2,5%, в продукционных комбикормах – 3–5%. К кормам для карпа и сома по данному показателю предъявляются менее жесткие требования.

Важнейшими лимитирующими аминокислотами в кормах для рыб являются лизин и метионин, поэтому в ТУ введены требования к нижним границам содержания этих аминокислот.

В связи с особенностями общего минерального состава искусственных кормов и водно-солевого обмена рыб в ТУ предусмотрена нижняя граница содержания фосфора – не менее 0,8–1,2%. В то же время, принимая во внимание способность рыб частично удовлетворять свою потребность в ряде минеральных веществ за счет их поглощения из воды, а также исходя из необходимости ограничения доли "балластных" веществ в пище и снижения минерального загрязнения среды отходами жизнедеятельности рыб, были введены ограничения на содержание сырой золы: ее уровень должен быть не выше 10–12%.

В отличие от нормативно-технической документации (НТД) на комбикорма для теплокровных животных в ТУ на корма для рыб включены показатели качества липидов, поскольку продукты перекисного окисления жиров являются токсичными для организма рыб. Так, перекисное число жира в стартовых комбикормах должно быть не выше 0,2% йода, в продукционных и для ремонтно-маточного стада – 0,3–0,5% йода (в зависимости от назначения корма); ограничивается также и кислотное число жира – не более 30 и 70 мг КОН, соответственно.

Кроме того, ТУ, также как и НТД для сельскохозяйственных животных, лимитируют содержание в корме металломагнитных примесей, избыточное количество которых может нарушить пищеварение рыб.

В ТУ включены также и показатели безопасности кормов для рыб, которые должны соответствовать нормам, утвержденным Департаментом ветеринарии Минсельхоза РФ.

Ветеринарно-санитарный анализ комбикормов включает органолептическую оценку, токсикологические, микологические, химико-аналитические и бактериологические исследования.

Комбикорма, имеющие затхлый, плесневелый, гнилостный и другие запахи, не свойственные продукту, а также комковатость и внешние признаки заплесневения после органолептического анализа выбраковываются. Если органолептические признаки изменены незначительно, и не дают достаточных оснований для выбраковки, то комбикорма направляют на токсикологические исследования и на основании полученных результатов принимают решение об их использовании.

При необходимости токсикологическое и микробиологическое обследование комбикормов осуществляют по методикам действующих стандартов [ГОСТ 13496.7-97].

Необходимость химико-токсикологических исследований обусловлена тем, что в комбикормах могут присутствовать различные токсиканты, в частности микотоксины, остатки пестицидов, тяжелые металлы и т.д. Токсичные химические элементы могут в значительных количествах загрязнять корма и вызывать хронические интоксикации у рыб, снижать их воспроизводительные функции и иммунный статус.

При добавлении в корма антиоксидантов (агидола, кормолана и др.), тормозящих окисление липидов и витаминов, срок хранения комбикормов для рыб, упакованных в запаянные или заклеенные полиэтиленовые или полипропиленовые мешки (без доступа воздуха), не должен превышать 6 мес. с даты изготовления, упакованных в другую негерметичную тару – не более 4 мес. с даты изготовления.

В 2004 г. специалистами ВНИИПРХ и ВНИИКП разработан новый национальный стандарт Российской федерации – ГОСТ Р 52346-2005 "Комбикорма для рыб. Номенклатура показателей", утвержденный Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии. Дата введения его в действие – 01.07.2006 г. с правом досрочного ввода. Стандарт подобного рода – первый в рыбохозяйственной отрасли. Он построен на основе новой концепции государственной стандартизации. В нем устанавливается только перечень гарантируемых показателей качества комбикормов, с учетом минимальных или максимальных ограничений значений без их конкретного указания. В перечень гарантируемых показателей входят: содержание воды, протеина, лимитирующих аминокислот (лизина, метионина и суммы метионина с цистином), жира, клетчатки, золы, фосфора, кальция, валовой и обменной энергии, а также крошимость и водостойкость гранул.

Новый стандарт ориентирован на рыночные методы хозяйствования и предоставляет потребителю и производителю право на заказ и изготовление комбикормов по согласованным параметрам качества. В качестве пособия по внедрению нового ГОСТа рекомендуются "Методические указания по расчету рецептов комбикормов", разработанные институтами Российской сельхозакадемии и Федерального агентства по рыболовству (ВНИИКП и ВНИИПРХ) и одобренные научно-техническим советом Минсельхоза РФ.

Заключение

Развитие современной аквакультуры не возможно без использования знаний по физиологии питания рыб, в частности их способности потреблять и перерабатывать пищу, особенно несвойственные им искусственные корма. Разработка основ рационального кормления является одним из центральных вопросов современного рыбоводства, значение которого будет постоянно возрастать по мере развития интенсивных форм культивирования рыб.

Центральное место в монографии отведено характеристике индивидуальных свойств для рыб 52 основных и нетрадиционных компонентов, из которых комплектуются комбикорма, а также естественной пищи – планктонных и бентосных организмов. Это относится к той части проблемы кормления, важность которой признается повсеместно, но экспериментальные сведения крайне ограничены. Их фрагментарность или отсутствие постоянно ощущается в руководствах по составлению рецептур и рекомендациях по кормлению рыб.

До последнего времени недостаток подобных сведений существовал и в сельскохозяйственной литературе. В определенной степени он был восполнен выходом в свет в 2000 г. книги Н.И. Чернышова и И.Г. Панина "Компоненты комбикормов", созданной на основе научных отчетов за 1979-1999 гг. ВНИИ комбикормовой промышленности и целого ряда его филиалов.

Как указывалось выше, обнаруженное ранее [Щербина, 1970, 1971а, 1973, 1973а, 1975, 1980, 1984] сходство реакций карпа и форели на специфические свойства сырья и аналогичная реакция на них сельскохозяйственных животных, подтвержденная материалами упомянутой выше книги, позволяют нам переносить представленную в главе 3 оценку питательности компонентов и на другие виды рыб, как обладающих желудком, так и не имеющих его, т.е. придать им в некотором роде универсальный характер.

Данное в работе описание питательных свойств сырья является обобщением результатов почти 40-летних исследований и производственных испытаний. Особая ценность характеристик состоит в их сопоставимости, так как исследования выполнялись на единой методической основе. Компоненты комбикормов охарактеризованы с позиций химического состава, переваримости питательных веществ рыбами, лимитирования эссенциальных факторов, наличия антипитательных агентов и других специфических свойств и их влияния на обмен веществ у рыб.

В процессе работы нами была предпринята попытка рассмотреть вопросы питания рыб, т.е. ассимиляции пищевых веществ из окружающей среды (или экзотрофии, по А.М. Уголеву [1985]), в координированной системе свойств пищевых продуктов и сформировавшихся в процессе эволюции особенностей их переработки в пищеварительном тракте.

В связи с этим в начале монографии мы дали описание роли основных групп пищевых веществ в жизнедеятельности рыб и проанализировали литературные сведения о потребности в них отдельных видов. Особое внимание было уделено незаменимым факторам питания, таким как белки, амино- и жирные кислоты, витамины и частично минеральные вещества, а также углеводам и жирам – основным источникам органических кислот и энергии.

На примере двух традиционных объектов аквакультуры, карпе и радужной форели, различающихся по экологии, типу питания и характеру пищеварения, на основе собственного экспериментального материала было установлено сходство и описаны различия в осуществлении процессов переваривания питательных ве-

ществ. Были выявлены общие закономерности в ходе расщепления и всасывания белков, жиров, углеводов и минеральных веществ, которые оказались независимыми от различий в экологии, строении и функциях пищеварительного тракта. Получение экспериментальных материалов стало возможным в результате использования авторских модификаций методов изучения физиологии питания и пищеварения рыб [Щербина, 1964, 1967, 1969, 1975, 1983; Щербина, Трямкина 1975].

Специальный раздел посвящен обнаруженной нами новой стороне пищеварительной деятельности рыб – эндогенной экскреции [Щербина, 1973, 1980, 1984]. Описанный процесс посредством саморегуляции физиологических механизмов способствует адаптации организма к пищевому разнообразию. Показано, что выделение в пищеварительный тракт из внутренней среды эндогенной воды, азотсодержащих веществ, углеводов, липидов и минеральных элементов (в отдельных случаях в количествах, сопоставимых с кормом) обеспечивает поддержание во всасываемой смеси концентрации питательных веществ в относительно малом интервале значений. Этот процесс является промежуточным этапом на пути превращения случайного набора питательных веществ кормов, в поток определенных мономеров, переходящих из среды кишечника в кровь.

У высших позвоночных и человека комплекс физиологических процессов, характеризующих в период активного пищеварения сохранение постоянства кишечного химуса и внутренней среды организма, получил название "пищеварительный гомеостаз" [Гальперин, Лазарев, 1986].

В перспективе детальное изучение этого процесса у рыб, помимо сравнительно-физиологических данных, интересных в эволюционном аспекте, даст возможность разработать для рыб, обладающих желудком, относительно быстрый способ оценки степени сбалансированности корма, что детально описано в конце главы 2.

Большое внимание уделено важному в практическом плане показателю – коэффициенту "видимой переваримости", т.е. количественной характеристике способности рыб переваривать и резорбировать питательные вещества. Раздел построен в основном на анализе собственных экспериментальных данных, полученных in vivo, и поднимает целый пласт научного материала, слабо освещенного в мировой и отечественной литературе.

Приведенные данные характеризуют потенциальные свойства того или иного вида сырья как источника питательных веществ и энергии и при комплектации рационов дают возможность в определенной мере предсказывать переваримость разработанного комбикорма и степень удовлетворения им потребностей рыб. Кроме того, знание коэффициентов переваримости позволяет определять уровень твердых остатков, содержащих азот, фосфор, клетчатку, которые выделяются рыбами в воду и загрязняют ее. Дополнительные определения у рыб коэффициентов конверсии питательных веществ корма дают возможность рассчитать и их количество, выделяющееся из организма в растворенном виде после использования переваренной части в обменных процессах (подробнее см. гл. 6). Эти сведения особенно важны при выращивании рыб в хозяйствах индустриального типа, особенно в случае применения для рециркуляционных систем, которые начали широко распространяться в аквакультуре.

Используя перечисленные показатели в совокупности, можно находить узкие места при комплектации определенных видов сырья в комбикорма и способы повышения питательности создаваемой смеси.

Однако приведенные данные в основном относятся к полифагу карпу. Для форели, осетровых и других хищных рыб, как видно из таблиц, наши и литературные сведения по переваримости и в целом по питательности отдельных ингредиентов еще малочисленны и фрагментарны. Как правило, зарубежные данные по этим вопроса единичны и ограничиваются вопросами переваримости белка и энергии, реже – сухого вещества. В основном это связано с методическими трудностями, а часто и с невозможностью проведения экспериментов по кормлению рыб монодиетами из растительных и микробиальных продуктов, что необходимо при изучении переваримости in vivo.

Определенным выходом из этой ситуации может быть использование разработанного нами "Метода оценки влияния отдельных ингредиентов на питательную

ценность рационов для рыб" [Щербина, Трямкина, 1975]. Согласно ему, изучаемый ингредиент исключают из корма и по массе заменяют инертным веществом (например, окисью хрома). Различия в переваримости питательных веществ кормов позволяют судить о влиянии изучаемого компонента на переваримость смеси в целом и дают относительную характеристику переваримости испытуемого ингредиента (естественно, без учета синергического или антагонистического влияния всех компонентов смеси). Подобный подход используется и в животноводстве, однако вместо инертного вещества там применяют компонент с известной питательностью. По нашему мнению, это дает большее искажение реальности, чем предлагаемый нами метод.

Следует отметить, что представленное в книге описание компонентов не исчерпывает их перечня, используемого в настоящее время для изготовления рыбных комбикормов в отечественной промышленности. Несмотря на это, в целях непосредственного использования в практике мы сочли возможным на базе данных о питательности и индивидуальных свойствах сырья предложить нормы его ввода и взаимозаменяемости в комбикормах для прудового карпа, а также привести количественную характеристику лимитирования незаменимых аминокислот (табл. 6 и 8 Приложения).

В мировой практике набор сырьевых компонентов как животного, так и растительного происхождения шире. Он включает мучнистые продукты из бобовых культур (в частности, безалкалоидного люпина), семян сои, рапса, хлопчатника, сурепки, разнообразные продукты переработки соевых бобов и кукурузы, концентраты белков бобовых и масличных культур, продукты из отходов пищевой и сельскохозяйственной промышленности и т.д. Причем каждый вид сырья имеет международный номер, его качество стандартизировано и строго контролируется.

Анализ имеющейся в нашем распоряжении информации свидетельствует, что большим недостатком отечественного сырья является нестабильность его химического состава и питательных свойств. Она обусловлена, помимо естественных факторов (сорт, географическая зона, климатические условия выращивания растений, виды, возраст и упитанность животных), технологическими, в частности способом обработки, условиями производства и хранения до включения в комбикорма. Качественные удостоверения на продукцию содержат скудную информацию, недостаточную для получения характеристики его питательных свойств.

Успешное развитие аквакультуры невозможно без организации производства комбикормов по современным технологиям, позволяющим в максимальной степени доносить до рыб заключенные в них питательные вещества и нивелировать отрицательное воздействие на метаболизм антипитательных факторов. Как показано в главе 3, к ним относятся структурные соединения, содержащиеся в сырье, которые способны вызывать токсические эффекты (гемагглютинины, сапонины, танины, глюкозинолаты, фитиновая кислота, ингибиторы ферментов и т.д.), а также ядовитые вещества, образуемые микрофлорой. Поэтому в книге детально охарактеризованы основные технологические способы, применяемые при изготовлении комбикормов. Процессы кормопроизводства описаны в аспекте влияния тех или иных приемов обработки на механическую структуру и химический состав сырья и комбикормов в целом, а также на сохранность важных элементов питания при производстве и хранении, что во многом определяет их физиологическую питательность.

В этом плане наиболее прогрессивными представляются методы гидробаротермической обработки – экструдирование и экспандирование. Важнейший положительный элемент их воздействия – изменение структуры и свойств углеводов, в результате чего возрастает их удобоваримость для рыб (как и для высших позвоночных). Появляется возможность высвобождения из сырья дешевой энергии, ранее недоступной для организма рыб. Она может быть использована для снижения уровня протеина в высокобелковых комбикормах при выращивании ценных видов рыб и сокращения в связи с этим содержания в них рыбной муки.

Анализ результатов наших исследований, изложенных в монографии и не вошедших в нее, а также мировая практика современной аквакультуры свидетельствуют о реальности использования подобного способа экономии белка с одновре-

менным введением в комбикорма повышенных количеств жира. Подтверждением сказанного может служить практика высокоэффективных лососевых хозяйств, использующих продукционные комбикорма с пониженным до 38–40% количеством белка, повышенным до 26–33% и даже 38% жира и экструдированными по специальной технологии пшеницей и другими растительными компонентами.

К положительным эффектам указанных технологий относятся возможность инактивации токсинов и других антипитательных факторов сырья, а также стерилизация получаемых продуктов. Однако степень этого воздействия зависит от технологических режимов, а максимальный эффект может сопровождаться снижением переваримости белков, образованием труднорасщепляемых комплексов аминокислот с другими веществами, окислением физиологически важных жирных кислот, разрушением витаминов и других биологически активных веществ. В тексте главы 5 и различных разделах главы 3 приведены конкретные примеры положительных и отрицательных воздействий этих технологий. Несмотря на возможность проявления негативных эффектов, положительные стороны воздействия гидробаротермической обработки на питательность кормов дают несопоставимо большой результат. Тем более, что влияние известных негативных сторон может быть устранено дальнейшим совершенствованием технологических режимов (давления, влаги, температуры), а также конструкций оборудования. Вместе с тем, возможно дополнительное обогащение комбикормов разрушаемыми веществами (например, витаминами или нанесением жиров на готовые корма), выборочной обработкой отдельных видов сырья путем комбинации этих способов с сухим прессованием. В то же время все технологические изыскания должны сопровождаться их экспериментальной проверкой на рыбах, что на современном этапе является одной из важнейших научных задач.

В разделе, посвященном подбору компонентов и балансированию состава комбикормов, мы предприняли попытку показать преимущества аналитического подхода к составлению рецептур, который базируется на результатах научных исследований по питанию рыб. Его основной принцип – соответствие содержания и соотношения отдельных питательных веществ в скомпонованном сырье физиологическим потребностям определенного вида рыб. Это предпринято с целью замены широко используемого эмпирического подхода, основанного на традиционно применявшихся в хозяйствах рецептурах и комбинации составляющих их компонентов в соответствии с их стоимостью и доступностью на рынке.

Помимо учета химического состава сырья, нами предложен учет степени переваримости питательных веществ подбираемого сырья и доступности незаменимых аминокислот по их скорам, не применявшийся ранее при разработке рецептур комбикормов для рыб. Кроме того, обоснована необходимость учета специфических свойств сырья, а также подбора тех технологических способов его предварительной подготовки или изготовления комбикормов, которые способствуют проявлению его лучших питательных свойств и снижают степень вредного воздействия антипитательных факторов.

Содержащийся в работе обширный табличный материал пригоден для непосредственного использования в практике создания рецептур комбикормов. Он может также служить основой для разработки новых компьютерных программ расчета рецептур, включающих мало использующиеся или не применявшиеся ранее показатели, в частности соотношение незаменимых аминокислот, их доступность, количество доступных форм фосфора и другие показатели.

Одна из последних глав посвящена описанию и систематизации способов оценки питательности кормового сырья и комбикормов. В нашем понимании, эта оценка должна строиться на сопоставлении органолептических показателей, аналитических и расчетных характеристик набора питательных веществ и их химического состава, учете специфических свойств сырья, а также на результатах биологических испытаний.

Из системы показателей, применяемых в мировой практике рыбоводных, зоотехнических и медико-биологических исследований, нами избран комплекс наиболее информативных. Для оценки влияния корма на обмен веществ у рыб к ним

присоединены разработанные нами новые показатели: "накопление веществ и энергии в теле рыб за период испытаний" и "концентрация веществ и энергии в единице прироста массы". Они характеризуют интегральные и частные изменения в обмене веществ у рыб под влиянием качества корма [Щербина, 1975, 1983].

Определение предложенного комплекса показателей в полном объеме или выборочно позволит получить основные характеристики питательных свойств комбикормов или отдельных видов сырья, оценить их влияние на обмен веществ у рыб, а в случае необходимости установить причины негативного действия и определить пути устранения нежелательных эффектов или усиления положительных.

Последняя глава содержит краткое изложение технологии кормления основных объектов пресноводной аквакультуры. Более подробно вопросы применения комбикормов для различных видов рыб, особенно в индустриальных хозяйствах, рассмотрены в методических материалах и инструкциях, выпускавшихся в разные в разные годы отраслевыми институтами, ссылки на которые даны в тексте.

Подводя итог изложенным материалам, считаем необходимым отметить, что мы не смогли охватить всего многообразия проблемы кормления рыб.

Дальнейшего изучения требуют еще много вопросов теории и практики кормления рыб. Остались не затронутыми вопросы сравнительной оценки различных количественных комбинаций исследованных компонентов, объединенных в комбикорма, подбора и испытания их оптимальных сочетаний. По-прежнему актуальны вопросы определения затрат кормов и кормовых коэффициентов и их количественной связи с химическим составом и качеством корма. Не описаны технологические тонкости условий кормления, в частности нормирования корма при изменении кислородного режима и других условий среды, что особенно важно для оксифильных рыб. Не затрагивались количественные связи между экологическими параметрами внешней среды (температурой, газовым режимом, загрязнением воды метаболитами и т.д.) и продуктивным действием комбикормов, хотя такие связи играют важную роль в деле получения конечных результатов работы промышленных хозяйств.

Требуется изучение вопросов трансформации питательных веществ кормов в организме рыб и поиск способов ее повышения. В связи с возможностью значительного увеличения ввода в комбикорма липидов и, как следствие, – количества антиоксидантов, предстоит оценить влияние последних на метаболические процессы в организме питающихся рыб. По экспериментальным данным [Щербина, Салькова, 1990], действие различных препаратов в используемых дозах не столь безразлично для организма, как это можно было полагать.

Следует отметить, что потенциал, созданный отечественной и мировой наукой по решению проблемы кормления рыб, огромен. В то же время исследования в области кормления объектов пресноводной аквакультуры продолжаются. Они осуществляются по следующим основным направлениям: мониторинг сырьевой базы для кормопроизводства, оценка питательности нетрадиционных видов сырья и разработка норм их ввода в комбикорма, определение и уточнение потребностей рыб в питательных и биологически активных веществах, совершенствование рецептур, модернизация способов и схем производства и использования комбикормов, разработка методов оценки и норм показателей безопасности кормов и многим другим.

Несмотря на то что кризис в отечественном кормопроизводстве еще не преодолен, появляется интерес частных компаний к данной сфере деятельности. Для того, чтобы их вооружить эффективными решениями в выборе сырья, рецептуры комбикормов, технологий производства и технологических регламентов, необходимо наличие модельных, опытно-промышленных минизаводов или пилотных установок, где в небольших объемах будут выпускаться партии кормов для тех или иных видов рыб с отработкой рецептур и параметров их изготовления.

Созданные научные разработки и нормативно-техническая документация дадут возможность оградить рыбоводные предприятия от недоброкачественных производителей и помогут потребителям в выборе наиболее эффективных видов комбикормовой продукции для аквакультуры.

Литература

Абрамова Ж.И., Афанасьева Ю.О. 1989. Переваримость питательных веществ высоконуклеиновых кормов с продуктами микробиосинтеза у карпа на теплых водах // Тезисы докладов VII Всесоюзной конференции «Экологическая физиология и биохимия рыб». Т. I. Ярославль. С. 6-7.

Абросимова Н.А. 1997. Корма и кормление молоди осетровых рыб в индустриальной аквакультуре. Дисс. в виде научн. докл. на соиск. уч. ст. д-ра биол. наук. М., 74 с.

Абросимова Н.А., Гамыгин Е.А., Белов Е.Г., Сафонова М.В. 1989. Инструкция по бассейновому выращиванию молоди осетровых на предприятиях Азово-Донского района с использованием стартового комбикорма Ст-4Аз. Ростов-на-Дону, 24 с.

Абросимова Н.А., Говорунова В.В. 2004. Влияние кукурузного глютена на обмен веществ сеголеток бестера // Тезисы докладов III Международной научно-практической конференции «Аквакультура осетровых рыб: достижения и перспективы развития». 22-25 марта 2004 г. Астрахань. С. 227-229.

Антипитательные факторы и методы их устранения. Обзор. 1993 // Комбикормовая промышленность. № 1. С. 43-45 – № 2. С. 37-39.

Антонюк А.В., Вощинин А.П. 1983. Методика расчета оптимальных кормосмесей для рыб. М.: ВНИИПРХ. 50 с.

Аршавский Д.С. 1987. Биологические показатели личинок карпа при выращивании на кормах различного минерального состава в условиях теплых вод. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. Л., 22 с.

Аствацатурьян А.Т. 1989. Метаболизм жирных кислот с нечетным числом атомов углерода // Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума «Белковые продукты микробиологического синтеза: анализ качества, медико-биологическая оценка и эффективность применения в сельском хозяйстве». М. С. 42-43.

Афанасьев В.А. 2002. Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. Воронеж: Воронежский ГУ, 296 с.

Багров А.М., Передня А.А., Шевченко Д.Г. 2005. Продукты глубокой переработки ракообразных для молоди рыб // Зоотехния. № 2. С. 67-69.

Баранов С.А., Резников В.Ф., Стариков Е.А., Толчинский Г.И. 1979. Основные уравнения роста биологических объектов // Биологические ресурсы внутр. вод.-в СССР. М.: Наука. С. 156-168.

Барта Я., Бергнер Г., Бучко Я., Бурачевски С. 1984. Нетрадиционные корма в рационах сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 272 с.

Баттери П., Бормен К. 1980. Энергетическая эффективность метаболизма аминокислот // Белковый обмен и питание. М.: Колос. С. 139-146.

Берман Ш.А. 1964. Материалы по контактному пищеварению у карпов двух возрастных групп // XI научная конференция по изучению внутренних водоемов Прибалтики. Тезисы докладов. Петрозаводск. С. 7-8.

Богатова И.Б., Жемаева Н.П., Киселева Л.А. 1986. Рекомендации по интродукции поликультуры планктонных и донных ракообразных в выростные пруды // М.: ВНИИПРХ. 11 с.

Боева Н.П. 2002. Научное обоснование комплексной технологии изготовления кормовой муки из нетрадиционных объектов промысла. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. д-ра техн. наук. М. 52 с.

Бойков Ю.А., Мухленов А.Г., Гамыгин Е.А., Дергалева Ж.Т. 2001. Новый подход к созданию стартовых кормов для ценных рыб // Рыбоводство и рыболовство. № 2. С. 2-3.

Бондаренко Л.Г., Скляров В.Я., Бахарева А.А., Хаблюк В.В. 1995. К вопросу о потребностях осетровых в витаминах группы В // Международный симпозиум по марикультуре. Тезисы докладов. Краснодар – Небуг. М.: ВНИРО. С. 48-50.

Бретт Д., Гроувс Т. 1983. Физиологическая энергетика // Биоэнергетика и рост рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность. С. 203-275.

Буховец Л.Д. 1983. О токсическом действии госсипола, содержащегося в компонентах корма для рыб // Сборник научных трудов «Биологические основы рационального кормления рыбы». Вып. 36. М.: ВНИИПРХ. С. 104-120.

Буховец Л.Д. 1984. Влияние госсипола на пищевую активность и рост карпа // Сборник научных трудов «Физиология основных объектов рыбоводства». Вып. 42. М.: ВНИИПРХ. С. 59-64.

Васильева Л.М., Пономарев С.В., Судакова Н.В. 2000. Кормление осетровых рыб в индустриальной аквакультуре. Астрахань: Волга, 86 с.

Веригина И.А., Жолдасова И.М. 1982. Эколого-морфологические особенности пищеварительной системы костистых рыб. Ташкент: ФАН Узбекской ССР. 152 с.

Виноградов В.К. 2002. Краткие итоги акклиматизации представителей китайского равнинного и североамериканского комплексов и других видов рыб на территории России // Сборник научных трудов «Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры». Вып. 78. М.: ВНИИПРХ. С. 188-193.

Виноградов В.Ю., Ерохина Л.В. 1960. Эффективность кормления карпа гранулированными кормами // Всесоюзное совещание по биологическим основам прудового рыбоводства. Тезисы докладов. М. С. 53-58.

Владовская С.А. 2002. Некоторые проблемы производства кормов, используемых в аквакультуре // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет «Корма и кормление в аквакультуре». Вып. 3. М.: ВНИЭРХ. С. 7-19.

Воронина В.П., Щербина М.А., Левченко В.И., Маслов Е.В. 1976. Влияние крупности размола комбикорма на эффективность использования гранул сухого прессования двухлетками карпа // Сборник научных трудов «Биотехника товарного рыбоводства». Вып. 16. М.: ВНИИПРХ. С. 129-136.

Востроушкин Д.М. 1998. Реакции рыб – объектов отечественного рыболовства и рыбоводства на сенсорно-активные сигналы химической природы. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. Калининград. 25 с.

Востроушкин Д.М., Кузьмин С.Ю., Шутов В.А. 1995. Влияние химических стимулов на пищевое поведение некоторых объектов отечественного рыбоводства // Сборник научных трудов «Физиолого-биохимические основы кормления рыб в аквакультуре». Калининград: КГТУ. С. 44-52.

Галаш В.Т., Головина Н.А., Соболев В.С. 1987. Реакция организма карпа на присутствие в кормах трихотеценовых микотоксинов // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и биохимии питания рыб». Вып. 52. М.: ВНИИПРХ. С. 120-132.

Гальперин Ю.М., Лазарев П.И. 1986. Пищеварение и гомеостаз. М.: Наука. 304 с.

Гамыгин Е.А. 1985. Теория и практика использования искусственных кормов в аквакультуре рыб // Аквакультура в СССР и США. Материалы советско-американского симпозиума по аквакультуре. М.: ВНИРО. С. 52-63.

Гамыгин Е.А. 1987. Корма и кормление рыб // Обзорная информация ЦНИИТЭИРХ. Рыбное хозяйство. Сер. Рыбохозяйственное использование внутренних водоемов. Вып. 1. 82 с.

Гамыгин Е.А., Боева Т.М., Кудашев С.Н. 1987. Сравнительная оценка кормовых компонентов различного происхождения в стартовых кормах для карпа // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и биохимии питания рыб». Т. 52. М.: ВНИИПРХ. С. 44-48.

Гамыгин Е.А., Канидьев А.Н. 1975. О возможности замены протеина животного происхождения растительным в кормах для мальков-сеголетков радужной форели // Сборник научных трудов «Биотехника индустриального форелеводства». Вып. 14. М.: ВНИИПРХ С. 109-114.

Гамыгин Е.А., Канидьев А.Н., Романенко Ю.И., Кошелева Л.В. 1977. Возможности использования ЭВМ при составлении рецептуры корма для рыб // Известия ГосНИОРХ «Биологические основы кормления рыб при индустриальных методах разведения». Т. 127. Л. С. 126-133.

Гамыгин Е.А., Лысенко В.Я., Скляров В.Я., Турецкий В.И. 1989. Комбикорма для рыб: производство и методы кормления. М.: Агропромиздат. 168 с.

Гамыгин Е.А., Пономарев С.В., Канидьев А.Н., Щербина М.А. 1990. Методические указания по кормлению рыб новыми комбикормами, выпускаемыми предприятиями Минрыбхоза СССР // М.: ВНИИПРХ. 45 с.

Гамыгин Е.А., Скляров В.Я., Студенцова Н.А., Скляров Ф.В. 2001. Рекомендации по использованию семян зернового сорго в комбикормах для рыб (рецепты комбикормов, нормы ввода) // Краснодар: КрасНИИРХ. 8 с.

Гамыгин Е.А., Сычев Г.А. 1999. Опыт использования нового компонента комбикормов для ремонтно-маточных стад осетровых рыб // Тезисы докладов первой научно-практической конференции «Проблемы современного товарного осетроводства». Астрахань. С. 90-91.

Гамыгин Е.А., Тюренков В.А., Тюренков А.А., Черных Е.Н. 2004. Каротиноидный препарат в кормлении рыбы // Комбикорма. № 3. С. 58-59.

Гамыгин Е.А., Щербина М.А., Передня А.А. 2004. Итоги работ по созданию новых кормов для ценных объектов аквакультуры // Вестник АГТУ. № 2(21). Астрахань: Изд-во АГТУ. С. 55-60.

Головина Н.А., Головин П.П., Романова Н.Н., Иванёха Е.В. 1998. Проблемы алиментарных анемий и методы их коррекции у рыб в пресноводной аквакультуре // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы развития рыбного хозяйства на внутренних водоемах в условиях перехода к рыночным отношениям». Минск: Хата. С. 287-291.

Головинская К.А., Щербина М.А., Соловьева Л.И., Бобров А.С. 1974. Взаимосвязь между происхождением сеголетков карпа, процессами накопления и использования в зимний период питательных веществ // Труды ВНИИПРХ «Генетика и селекция карпа и других объектов рыбоводства». Т. XXIII. М.: Пищевая промышленность. С. 48-55.

ГОСТ 13496.7. 2004. Зерно фуражное, продукты его переработки, комбикорма. Методы определения токсичности.

Грачева И.М., Гаврилова Н.И., Иванова Т.И. 1980. Технология микробных препаратов, аминокислот, жиров. М.: Пищевая промышленность. 447 с.

Грудцина А.И., Трямкина С.П., Щербина М.А. 1976. Характеристика пластического обмена у двухлетков карпа в зависимости от качественных различий в питании на первом и втором году жизни // Тезисы докладов III Всесоюзной конференции «Экологическая физиология рыб». Ч. 2. Киев: Наукова думка. С. 82-83.

Дамберг Д.Э., Латвениекс М.Г. 1972. Прикладная биохимия. Рига: Зинатне. 283 с.

Дацун В.М. 2001. Кормовые продукты. Рыбная мука // Технология продуктов и гидробионтов. М.: Колос. С. 403-417.

Дедюхина Э.Г., Дудина Л.П., Ерошин В.К. 1980. Состав липидов Hansenula Polymopha в зависимости от условий непрерывного культивирования // Микробиология. Т. 49. Вып. 1. С. 39.

Дикушникова Ф.С., Корнеев А.Н., Корнеева Л.А., Фарберов В.Г. 1976. К вопросу оптимизации температурного режима при выращивании карпа индустриальными методами // Труды ВНИИПРХ «Индустриальные методы рыбоводства». Т. XXVI. М. С. 13-20.

Донченко Г.В. 1985. Изучение роли витамина Е в организме // Украинский биохимический журнал. № 5. С. 75-85.

Дума Л.Н. 1987. Эффективность включения микроэлементов селена и йода в корма для сеголетков карпа // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и биохимии питания рыб». Вып. 52. М.: ВНИИПРХ. С. 75-80.

Дума Л.Н. 1987а. Питательная ценность углеводных дрожжей (паприна) разной технологии изготовления для сеголетков карпа // Современное состояние и перспективы рационального использования рыбного хозяйства в бассейне Азовского моря. Ч. 2. Аквакультура (Ростов-на-Дону). Ростов-на-Дону. С. 38-39.

Дума Л.Н., Щербина М.А. 1988. Способ изготовления корма для молоди карповых рыб // А.с. № 1433441. Б.И. № 40. 30.10.88.

Дюкар И., Вагичев А. 1998. Отечественный кормовой белок // Комбикормовая промышленность. № 3. С. 34.

Егоров И., Паньков Н., Розанов Б., Нестеров Н. 1999. Биотрин в рационах в птицы // Комбикормовая промышленность. № 4. С. 38.

Ефимова Е.Н., Чертихин В.Г. 1985. Инструкция по выращиванию сеголетков карпа и растительноядных рыб в прудах // М.: ВНИИПРХ. 27 с.

Желтов Ю.А. 2000. Технология кормления разных видов и возрастов рыб в промышленном рыбоводстве // Пресноводная аквакультура в Центральной и Восточной Европе: достижения и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции, г. Киев 18-21 сентября 2000 г. Киев. С. 273-276.

Желтов Ю.А., Просяный В.С., Федоренко В.А. 1980. Основные проблемы изучения вопросов кормления рыб и разработки новых рецептов комбикормов // Рыбное хозяйство. Вып. 30. Киев: Урожай. С. 42-45.

Желтов Ю.А., Федоренко В.А., Осадчая Е.Ф., Порохонская Е.М. 1980. Методические рекомендации по совершенствованию технологии выращивания товарного карпа в садковых рыбных хозяйствах // Киев. 33 с.

Зимнович И.А. 1976. Физиологические предпосылки улучшения использования крахмала: Обзор // Сельское хозяйство за рубежом. Животноводство. № 3. С. 36-39.

Ильина И.Д. 1986. Физиолого-биохимические аспекты белкового питания личинок карпа. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М.: ВНИИПРХ. 23 с.

Имангулов Ш.А. 1999. Рекомендации по кормлению сельскохозяйственной птицы. Сергиев-Посад: ВНИТИП. 67 с.

Инструкция по изготовлению кормовой муки. 1994 / Сборник технологических инструкций по обработке рыбы. Т. 2. М.: Колос. С. 512-526.

Исаев В.А. 1985. Кормовая рыбная мука. М.: Агропромиздат. 188 с.

Казлаускене О.П., Щербина М.А. 1973. О применимости добавок мела в рационах для карпа // Сборник научных трудов «Биотехника разведения и выращивания прудовых рыб». Вып. 10. М.: ВНИИПРХ. С. 150-159.

Казлаускене О.П., Щербина М.А. 1973а. Влияние добавок мела на биологическую ценность рационов для двухлетнего карпа // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по экологической физиологии рыб. М., С. 185-187.

Казлаускене О.П., Щербина М.А. 1975. Изучение органического и минерального состава химуса у двухлетков крапа (Cyprinus carpio L.) при введении в рацион мела // Вопросы ихтиологии. Т. 15. Вып. 5. С. 896-903.

Калачнюк Г.И. 1989. Физиолого-биохимические и практические аспекты скармливания рапсовых добавок // Вестник сельскохозяйственной науки. № 5. С. 125-135.

Калашников А.П., Клейменов Н.И., Баканов В.Н. 1985. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справочное пособие. М.: Агропроиздат. 352 с.

Калмыков Л.В. 2002. Разведение и выращивание канального сома в тепловодных хозяйствах индустриального типа // Избранные труды ВНИИПРХ. Кн. 1. Т. I-II. Дмитров. С. 123-126.

Калунянц К.А., Ездаков Н.В., Пивняк И.Г. 1980. Применение продуктов микробиологического синтеза в животноводстве. М.: Колос. 288 с.

Кальницкий Б.Д., Григорьев Н.Г. 1976. О доступности аминокислот и обеспечения ими животных: Обзор // Сельское хозяйство за рубежом. Животноводство. № 12. С. 33-36.

Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А. 1975. Повышение эффективности полноценных гранулированных кормов для форели путем замены животного протеина на растительный // Труды ВНИИПРХ «Виды кормов и методы кормления рыб». Т. XXIV. М.: Пищевая промышленность. С. 33-50.

Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А. 1975а. Разработка и испытание первого гранулированного корма для молоди форели на ранних стадиях постэмбрионального развития (стартовый корм) // Сборник научных трудов «Биотехника индустриального форелеводства». Вып. 14. М.: ВНИИПРХ. С. 34-55.

Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А. 1977. Руководство по кормлению радужной форели полноценными гранулированными кормами. М.: ВНИИПРХ. 91 с.

Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А. 1979. О повышении эффективности искусственного разведения лососевых рыб // Итоги науки и техники «Зоология позвоночных». Т. 10. М.: ВНИИТИ АН СССР. С. 108-151.

Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А., Боева Т.М., Милославова Е.А. 1983. Стартовые корма для личинок карпа // Рыбное хозяйство. № 2. С. 38

Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А., Боева Т.М., Милославова Е.А. 1984. Пекарские дрожжи различной степени автолиза в стартовых кормах для личинок карпа. // Сборник научных трудов «Вопросы интенсификации прудового рыбоводства». Вып. 41. М.: ВНИИПРХ. С. 140-143.

Канидьев А.Н., Гамыгин Е.А., Подоскин А.Г. 1979. Новые кормосмеси для радужной форели с использованием муки из криля // Сборник научных трудов «Индустриальные методы рыбоводства». Вып. 24. М.: ВНИИПРХ. С. 44-59.

Канидьев А.Н., Новоженин Н.П., Гамыгин Е.А., Титарев Е.Ф. 1985. Инструкция по разведению радужной форели. М.: ВНИИПРХ. 59 с.

Карзинкин Г.С. 1932. К изучению физиологии пищеварения рыб // Труды Лимнологической станции в Косине. Вып. 15. С. 85-121.

Карзинкин Г.С. 1952. Основы биологической продуктивности водоемов. М.: Пищепромиздат. 340 с.

Карзинкин Г.С. 1962. Использование радиоактивных изотопов в рыбном хозяйстве. М.: Пищепромиздат. 71 с.

Картавцева Ж.Е., Абрамова Т.И., Остроумова И.Н. 1987. Временная инструкция по определению степени окисления липидов в кормах и оценке влияния качества кормов для рыб. Л.: НПО Промрыбвод. 28 с.

Касаткина А.Е. 1988. Обмен веществ и выживаемость молоди карпа в процессе роста и зимнего голодания в зависимости от условий питания в летний период. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М. 24 с.

Касаткина А.Е., Щербина М.А. 1999. Обмен веществ и энергии у карпа в эмбриональном и раннем постэмбриональном периодах // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и кормления рыб». Вып. 74. М.: ВНИИПРХ. С.3-26.

Кизиветтер И.В. 1973. Биохимия сырья водного происхождения. М.: Пищевая промышленность. 424 с.

Киселев А.Ю. 1984. Сравнительная характеристика времени прохождения пищи через кишечник сеголеток карпа в экспериментальных условиях // Сборник научных трудов «Физиология основных объектов рыбоводства». Вып.42. М.: ВНИИПРХ. С. 70-73.

Киселев А.Ю. 1984а. Интенсивность питания сеголетков карпа при выращивании в прудовых условиях // Сборник научных трудов «Физиология основных объектов рыбоводства». Вып.42. М.: ВНИИПРХ. С. 155-161.

Киселев А.Ю. 1985. Количественная характеристика питания сеголетков карпа в выростных прудах // Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М. 24 с.

Киселев А.Ю., Рекубратский Н.В. 1982. Особенности ритма питания сеголетков и двухлетков карпа в различный периода кормления // Сборник научных трудов «Вопросы промышленного рыбоводства». Вып. 34. М.: ВНИИПРХ. С. 117-127.

Кляшторин Л.Б. *1984. Кислородная чувствительность и потребности в растворенном* в воде кислороде морских и пресноводных рыб. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. д-ра. биол. наук. М.: ВНИРО. 48 с.

Князева Л.М. 1979. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: ГосНИОРХ. 12 с.

Князева Л.М. 1991. Использование продуктов микробиосинтеза в кормах сиговых рыб // Сборник научных трудов «Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства». Вып. 306. Л.: ГосНИОРХ. С. 55-66.

Ковальский В.В., Гололобов А.Д. 1959. Методы определения микроэлементов в почвах, растительных и животных организмах. М.: ВИЖ. 138 с.

Кокова В.Е. 1982. Непрерывное культивирование беспозвоночных. Новосибирск: Наука. 168 с.

Колобова И.Ю. 1996. Эффективность использования комбикормов сеголетками карпа при выращивании в поликультуре с растительноядными рыбами в условиях рыбоводных хозяйств Астраханской области. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М.: ВНИИПРХ. 26 с.

Корнеев А.Н., Корнеева Л.А. 1968. О протеиновом питании карпа // Теоретические основы кормления прудовых рыб. М. С. 8-9.

Котик Л.В., Толоконников Г.Ю., Дубровин В.Н. 1979. Влияние добавок крилевой муки в кормовую смесь на пигментацию мускулатуры радужной форели (Salmo gairdneri Rich) // Вопросы ихтиологии. Т. 19. Вып. 5. С. 902-906.

Кох В., Банк О., Йенс Г. 1980. Рыбоводство. М.: Пищевая промышленность. 216 с.

Кочеткова А.А., Фишилевич Е.Ю., Баскаева А.Е. 1987. Улучшители в технологии шоколадных изделий // Сер. «Кондитерская промышленность». Вып. 8. М. 36 с.

Краюхин Б.В. 1963. Физиология пищеварения пресноводных костистых рыб // М.-Л.: АН СССР. С. 140.

Кремер Ю.Н. 1965. Биохимия белкового питания. Рига: Зинатне. 467 с.

Кренке Г.Я. 1980. Исследования минерального и белкового состава некоторых видов живых кормов в Японии. Обзор // Рыбное хозяйство. Сер. Рыбохозяйственное использование внутренних водоемов. Экспресс-информация. Вып. 9. М.: ЦНИИТЭИРХ. С. 6-13.

Крылова Н.И., Дедюхина Э.Г., Ерошин В.К. 1983. Закономерности в соотношении азотсодержащих компонентов в биомассе дрожжей // Прикладная биохимия и микробиология. Т. XIX. Вып. 4. С. 456-489.

Кузьмин С.Ю., Востроушкин Д.Н. 1994. Поведенческие реакции молоди осетровых рыб на химические стимулы // Сборник научных трудов «Водные биоресурсы и аквакультура». Калининград: Изд-во КГТУ. С. 126-133.

Кузьмина В.В. 1995. Защитная функция пищеварительного тракта рыб // Вопросы ихтиологии. Т. 35. № 1. С. 86-93.

Кузьмина В.В., Голованова И.Л., Скворцова Е.Г. 1999. Вклад ферментов кормовых объектов в процессы пищеварения рыб // Материалы II международного симпозиума «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре». Краснодар. С. 203.

Кузьмина В.В., Щербина М.А., Линник Н.В., Кочеткова А.А., Головина И.Л., Халько В.В. 1990. Некоторые аспекты регулирования пищеварительно-транспортных функций у карпа // Второй симпозиум по экологической физиологии рыб. Ярославль. С. 140-141.

Лавровский В.В. 1979. Новые способы кормления рыб // Рыбоводство и рыболовство. № 5. С. 6-9.

Лавровский В.В., Белковский Н.М. 1976. Методы определения потерь форелевых кормов от размывания (непосредственно в прудах) // Известия ГосНИОРХ «Биологические основы форелеводства» Т. 117. Л. С. 108-112.

Лавровский В.В., Мустаев С. 1987. Первый опыт применения автокормушек на выростных прудах // Рыбоводство. № 3. С. 16-17.

Ланге Н.О. 1948. Развитие кишечника сазана, воблы и леща // Морфологические особенности, определяющие питание леща, воблы и сазана на всех стадиях развития. М-Л.: АН СССР. С. 182-218.

Макарова З.Я., Щербина М.А. 1975. Переваримость питательных веществ растительного корма гусеницами водной огневки // Сборник научных трудов «Физиология прудовых рыб». Вып. 12. М.: ВНИИПРХ. С. 42-50.

Маликова Е.М. 1967. К разработке метода ускоренного выращивания на рыбоводных заводах молоди лосося до покатной стадии // Рыбохозяйственные исследования в бассейне Балтийского моря. Сб. 3. Рига: Звайгзне. С. 146-193

Марма Б.Б., Щербина М.А. 1980. Рекомендации по применению протосубтилина Г3х-1 для кормления двухлеток карпа. Вильнюс: ВНИИПЭ. 7 с.

Маслобойщиков В.С. 1997. Препараты «белотин» и «биотрин» в комбикормах для молоди радужной форели // Тезисы докладов Первого конгресса ихтиологов России. Астрахань. С. 333.

Маслобойщиков В.С., Гамыгин Е.А. 1998. Каротиноиды в комбикормах для лососевых // Рыбоводство и рыболовство. № 1. С. 21.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. 1974. М.: Наука. 210 с.

Минеральный состав кормов. 1968 // Под ред. М.Ф. Томме. М.: Колос. 256 с.

Мирзоева Л.М. 1993. Потребность голубой тиляпии в некоторых водорастворимых витаминах // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет «Корма и кормление рыб». Вып. 4. ВНИИЭРХ. С. 5-10.

Мирзоева Л.М. 1996. Патологии рыб, вызванные дефицитом минеральных веществ // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет «Болезни рыб». Вып. 2. ВНИЭРХ. С. 1-12.

Мирзоева Л.М. 1999. Содержание жира в кормах для лосося // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет « Корма и кормление рыб». Вып. 2. ВНИЭРХ. С. 30-33.

Миронов С.Г., Востроушкин Д.Н. 1994. Особенности поведенческих реакций молоди русского осетра на экстракты стартовых комбикормов при выращивании в бассейнах // Сборник научных трудов «Водные биоресурсы и аквакультура». Калининград: Изд-во КГТУ. С. 139-144.

Михайлова М.В. 2000. Кормовая ценность артемии салина в водоемах Астраханской области // Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Астрахань: КаспНИИРХ. С. 250-263.

Орлинский Б.С. 1984. Добавки и премиксы в рационах. М.: Россельхозиздат. 173 с.

Остроумова И.Н. 1974. Рекомендации по применению сухого гранулированного корма при выращивании товарной форели. Л.: ГосНИОРХ. 28 с.

Остроумова И.Н. 1976. Гранулированные корма для сеголеток карпа // Рыбное хозяйство. № 4. С. 28-30.

Остроумова И.Н. 1976а. О морфофизиологических особенностях пищеварительной системы радужной форели (Salmo irideus Gib.) в связи с использованием сухих гранулированных кормов // Известия ГосНИОРХ «Физиологические основы составления гранулированных кормов для радужной форели». Т. 72. Л. С. 5-26.

Остроумова И.Н. 1977. Методические указания по применению сухого гранулированного корма при выращивании товарной форели. Л.: ГосНИОРХ. 22 с.

Остроумова И.Н. 1978. Роль сбалансированности корма при выращивании карпа на теплых водах // Рыбное хозяйство. № 12. С. 24-26.

Остроумова И.Н. 1979. Физиолого-биохимическая оценка состояния рыб при исскуственном разведении // Современные вопросы экологической физиологии рыб. М.: Наука. С. 59-67.

Остроумова И.Н. 1979а. Инструкция по выращиванию крупного посадочного материала карпа в условиях теплых вод на полноценных гранулированных кормах. Л.: ГосНИОРХ. 24 с.

Остроумова И.Н. 1983. Потребность рыб в белке и ее особенности у личинок в связи с этапами развития пищеварительной системы // Сборник научных трудов ГосНИОРХ «Вопросы физиологии и кормления рыб». Вып. 194. Л.: Промрыбвод. С. 3-19.

Остроумова И.Н. 1983а. Повышение эффективности выращивания карпа в тепловодном рыбоводстве путем физиологически обоснованного кормления // Сборник научных трудов «Выращивание рыбы в бассейнах и лотках на теплых водах». Вып. 206. Л.: ГосНИОРХ. С. 84-97.

Остроумова И.Н. 1991. Итоги применения БВК (паприна) в индустриальном рыбоводстве // Сборник научных трудов «Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства». Вып. 306. Л.: ГосНИОРХ. С. 3-13.

Остроумова И.Н. 2001. Биологические основы кормления рыб. С.-П.: ГосНИОРХ. 372 с.

Остроумова И.Н., Аршавский Д.С., Калкун В.К., Мосейчук К.Б. 1991. Эффективность использования гаприна в рационах карпа разного возраста // Сборник научных трудов «Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства». Вып. 306. Л.: ГосНИОРХ. С. 27-46.

Остроумова И.Н., Дементьева М.А. 1981. О начале функционирования поджелудочной железы в пищеварительном процессе личинок карпа Cyprinus carpio // Эволюционная биохимия и физиология. Т. XVII. № 3. С. 302-304.

Остроумова И.Н., Ильина И.Д. 1981. Физиологические основы разработки стартовых кормов типа Эквизо для личинок рыб // Сборник научных трудов «Научные основы кормления рыб в тепловодном рыбоводстве». Вып. 175. Л.: ГосНИОРХ. С. 66-92.

Остроумова И.Н., Комарова Г.В., Рождественская Е.Н. 1979. Методические указания по зимнему содержанию и кормлению сеголетков карпа в условиях теплых вод. Л.: ГосНИОРХ. 13 с.

Остроумова И.Н., Турецкий В.И. 1981. Временные рекомендации по кормлению личинок и ранней молоди карпа стартовым кормом Эквизо // Л.: ГосНИОРХ. 12 с.

Остроумова И.Н., Турецкий В.И., Иванов Д.И., Григорян А.Н. 1979. Корм для молоди рыб. А. с. № 961176. Зявл. 19.11.1979.

Остроумова И.Н., Турецкий В.И., Иванов Д.И., Дементьева М.А. 1980. Полноценный стартовый корм для личинок карпа в условиях теплых вод // Рыбное хозяйство. № 6. С. 41-44.

Патент № 1550650. Способ получения корма для рыб / М.А. Щербина, Н.В. Линник, Т.Г. Столярова, А.А. Кочеткова и др.; Б.И. 1990 № 10 (ДСП). Госкомитет по изобретениям и открытиям СССР.

Пегель В.А. 1950. Физиология пищеварения рыб // Труды Томского ГУ. Сер. Биология. Т. 108. 376 с.

Першина И.Ф. 1984. Характеристика потребления комбикорма и роста сеголетков карпа при введении в рацион различных количеств личинок хирономид // Тезисы докладов Всесоюзной конференции молодых ученых «Методы интенсификации прудового рыбоводства». М. С. 64-65.

Першина И.Ф., Щербина М.А. 1985. Усвоение питательных веществ и рост карпа при добавлении к комбикорму естественной пищи // Тезисы VI Всесоюзной конференции по экологической физиологии и биохимии рыб. Вильнюс. С. 42-44.

Першина И.Ф., Щербина М.А. 1999. Доступность для карпа аминокислот Daphnia magna комбикорма и смешанных диет // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и кормления рыб». Вып. 74. М.: ВНИИПРХ - НТЦ «Аквакорм». С. 119-127.

Петрухин И.В. 1972. Применение химических и биологических веществ в кормлении птицы. М.: Россельхозиздат. 239 с.

Подоскина Т.А. 1996. Эффективность использования углеводов растительного происхождения в комбикормах для радужной форели Oncorhynchus mykiss. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М. 23 с.

Пономарев С.В. 1995. Биологические основы кормления лососевых рыб в раннем постэмбриогенезе. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. д-ра. биол. наук. М. 43 с.

Пономарев С.В., Бахарева А.А., Лагуткина Л.Ю., Васильева Н.В. 1997. Новый способ создания рецептов стартовых комбикормов для молоди осетровых рыб // Тезисы докладов Первого конгресса ихтиологов России. Астрахань. С. 336.

Пономарев С.В., Гамыгин Е.А., Никоноров С.И., Пономарева Е.Н., Грозеску Ю.Н., Бахарева Л.А. 2002. Технологии выращивания и кормления объектов аквакультуры юга России. Астрахань: Нова плюс. 264 с.

Пономарев С.В., Пономарева Е.Н. 2003. Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в индустриальных условиях. Астрахань: Изд-во АГТУ. 188 с.

Попова В.А., Шапошников А.М., Егоров И.А., Кузина Л.Я. 1988. Новая кормовая добавка с повышенным содержанием водорастворимых кислот // Гидролизная и лесохимическая промышленность. № 6. С. 1-5.

Разенков И.П. 1948. Новые данные по физиологии и патологии пищеварения. М. 288 с.

Рао П. 1964. Некоторые биохимические механизмы акклимации тропических пойкилотермных животных к низкой температуре // Клетка и температура. М.-Л.: Наука. С. 73-80.

Рекубратский Н.В. 1982. Влияние вида корма и плотности посадки на интенсивность питания карпа в прудах // Сборник научных трудов «Вопросы промышленного рыбоводства». Вып. 34. М.: ВНИИПРХ. С. 81-92.

Рекубратский Н.В. 1984. Функциональная характеристика процесса насыщения карпа // Тезисы докладов всесоюзной конференции молодых ученых «Методы интенсификации прудового рыбоводства». М.: ВНИИПРХ. С. 54-55.

Рекубратский Н.В., Буховец Л.Д. 1990. Оценка питательности цельного зерна ячменя для карпов // Рыбное хозяйство. Сер. Рыбохозяйственное использование внутренних водоемов. Экспресс информация ВНИЭРХ. Вып 11. С. 19-24.

Рекубратский Н.В., Щербина М.А. 1999. Критерии оптимизации аминокислотного состава кормов для карпа // Материалы докладов II Международного симпозиума «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре». Россия: Адлер С. 113.

Рекубратский Н.В., Щербина М.А., Киселев А.Ю. 1985. Результаты изучения процесса продвижения пищи по кишечнику у карпов // Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по экологической физиологии и биохимии рыб. Вильнюс. С. 176-178.

Ржавская Ф.М. 1976. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Пищевая промышленность. 470 с.

Руднева И.И. 1991. Артемия. Перспективы использования в народном хозяйстве // Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского. Киев: Наукова думка. 144 с.

Саенко Е.М. 1996. Потребности молоди осетра и севрюги в незаменимых аминокислотах // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азовского бассейна. Ростов-на-Дону: АзНИИРХ. С. 310-311.

Салькова И.А. 1984. Доступность аминокислот ржаных отрубей для двухлетков карпа // Сборник научных трудов «Физиология основных объектов рыбоводства». Вып. 42. М.: ВНИИПРХ. С. 55-58.

Салькова И.А. 1985. Доступность аминокислот проса для карпа // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по промышленному рыбоводству и проблемам кормов, кормопроизводства и кормления рыб. М.: ВНИИПРХ. С. 112-113.

Салькова И.А. 1991. Доступность аминокислот рыбной муки в зависимости от технологии ее изготовления и сроков хранения для двухлетков карпа // Тезисы докладов конференции «Методы исследования и использования гидросистем». Рига. С. 188-189.

Салькова И.А., Першина И.Ф. 1997. Опыт определения питательных свойств БВК «Белотин» при выращивании карпа // Тезисы докладов Первого Конгресса ихтиологов России. Астрахань. С. 337-338.

Салькова И.А., Щербина М.А., Гамыгин Е.А. 2001. О питательности прадикона – нового вида кормового сырья для карпа // Материалы докладов научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития аквакультуры в России». Краснодар. С. 241-242.

Салькова И.А., Щербина М.А., Генералова Л.П. 1987. Доступность аминокислот и переваримость основных групп питательных веществ крилевой муки у карпа // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Современное состояние и перспективы рационального использования и охраны рыбного хозяйства в бассейне Азовского моря». Ч. II. Аквакультура. Ростов-на-Дону. С. 95-96

Салькова И.А., Щербина М.А., Дума Л.Н. 1989. О влиянии кормового препарата в-каротина на питательные свойства комбикорма КТН-86 для карпа // Сборник научных трудов «Вопросы разработки и качества комбикормов». Вып. 57. М.: ВНИИПРХ. С. 62-70.

Сборник технологических инструкций по обработке рыбы // Под ред. Т.И. Макаровой, А.И. Тенякова. Т. II. М.: Пищевая промышленность, 1980. С. 271-285.

Сергеева Н.Т. 1984. Усвоение радужной форелью жирных кислот рыбьего жира, подсолнечного масла и свиного жира в составе гранулированного корма // Рыбное хозяйство. № 3. С.29-30.

Сергеева Н.Т. 1987. К вопросу о минеральном составе корма РГМ-5В для форели, выращиваемой в установке с замкнутым водоснабжением // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и биохимии питания рыб». Вып. 52. М.: ВНИИПРХ. С. 18-28.

Сергеева Н.Т. 1989. Физиолого-биохимические основы повышения эффективности питания радужной форели (Salmo gairdneri Rich) в аквакультуре. Автореф. дисс. на сиос. уч. ст. д-ра биол. наук. М. 51 с.

Сергеева Н.Т., Нефедова Н.П. 1987. Питательная ценность кормов животного происхождения для радужной форели (Salmo gairdneri R.) // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и биохимии питания рыб». Вып. 52. М.: ВНИИПРХ. С. 34-44.

Сергеева Н.Т., Нефедова Н.П. 1989. Физиолого-биохимическая оценка эффективности использования муки из отходов производства филе кальмаров в кормлении форели // Сборник научных трудов «Вопросы разработки качества комбикормов». Вып. 57. М.: ВНИИПРХ. С. 91-98.

Скляров В.Я., Гамыгин Е.А., Рыжков Л.П. 1984. Кормление рыб. Справочник. М.: Легкая и пищевая промышленность. 120 с.

Скляров В.Я., Студенцова Н.А., Мезина В.В., Жердева Е.П. 1995. Нетрадиционные кормовые добавки в рационах рыб // Рыбоводство и рыболовство. № 2. С. 29-31.

Скурихин И.М., Болгарев М.Н. 1987. Химический состав пищевых продуктов. М.: Агропромиздат. 360. с.

Слепнёв В.А., Щербина М.А., Ибрагимов И.И. 1977. Интенсивность обмена у сеголетков карпа, выращиваемых на рационах с включением крилевой муки // Сборник научных трудов «Разведение и выращивание прудовых рыб». Вып. 18. М.: ВНИИПРХ. С. 165-172.

Содержание питательных веществ в кормах для сельскохозяйственной птицы.1985 // Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. М.: Агропромиздат. С. 223-260.

Справочник по вторичным материальным ресурсам пищевой промышленности. 1984. М.: Экономика. 326 с.

Справочник по контролю кормления и содержания животных. 1982 / В.А. Аликаев, Е.А. Петухова, Л.Д. Каленева и др. М.: Колос. 320 с.

Справочные сведения в счет соглашения о научно-техническом сотрудничестве в области рыбного хозяйства между Министерством рыбного хозяйства СССР и фирмами «Нитиро Гёгё», «Прогресс Трейдинг». 1990. М. 15 с.

Судакова Н.В. 1997. Новые отечественные продукты микробного синтеза в составе гранулированного комбикорма «ОСТ-4» для ранней молоди осетровых рыб // Тезисы докладов Первого конгресса ихтиологов России. Астрахань. С. 338-339.

Судакова Н.В. 1998. Сравнительная эффективность продуктов микробного синтеза в составе стартовых комбикормов для молоди осетровых рыб. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М.: ВНИИПРХ. 26 с.

Супрунов Д.А. 1998. Использование ферментов «Ново-Нордиск» (Дания) и кормовых добавок «Нутри-Эд» (Бельгия) в системе кормления птиц и свиней // Доклады на 2-й международной конференции «Современное состояние комбикормовой промышленности и перспективы ее развития» 19-23 октября. М. С. 41-52.

Суховерхов Ф.М. 1957. Кормление карпа отходами промышленности и сельского хозяйства (избранные части). М.: ВНИРО. 140 с. (50-60).

Суховерхов Ф.М. 1971. Исследования по улучшению качественного состава кормов для карпа. Методы его кормления // Труды ВНИИПРХ «Вопросы прудового рыбоводства». Т. XVIII. С. 36-46.

Суховерхов Ф.М., Крымова Р.В., Фарберов В.Г. 1961. Влияние солей кобальта на рост карпа // Рыбоводство и рыболовство. № 1. С. 18-26.

Сычев Г.А., Гамыгин Е.А., Новоженин Н.П. 1981. Совершенствование рецептуры кормов для ремонтно-маточного стада форели в условиях индустриальных хозяйств на подогретой воде ГРЭС // Сборник научных трудов «Научные основы кормления рыб в тепловодном рыбоводстве». Вып. 175. Л.: ГосНИОРХ. С. 181-191.

Сычев Г.А., Щербина М.А., Сигиневич Г.П., Белова М.И. 1988. Продукционный комбикорм для выращивания карпа в установках с замкнутым водоснабжением // Сборник научных трудов «Индустриальные методы рыбоводства в замкнутых системах». Вып. 55. М.: ВНИИПРХ. С. 124-131.

Тимошина Л.А. 1976. Усовершенствование комбикормов для двухлеток карпа, выращиваемых в садках на теплых водах // Рыбное хозяйство. № 9. С 25-27.

Тимошина Л.А. 1991. Использование гаприна в кормах для радужной форели // Сборник научных трудов «Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства». Вып. 306. Л.: ГосНИОРХ. С.47-54.

Тимошина Л.А., Остроумова И.Н. 1977. Рекомендации по применению гранулированного корма при выращивании товарного карпа на теплых водах. Л.: ГосНИОРХ. 13 с.

Трофимова Л.Н. 1984. Питательная ценность продуктов микробиологического синтеза для двухлетков карпа // Сборник научных трудов «Физиология основных объектов рыбоводства». Вып. 42. М.: ВНИИПРХ. С. 39-45.

Трофимова Л.Н., Щербина М.А. 1982. Характеристика питательной ценности ржи и ржаных отрубей для двухлетков карпа // Сборник научных трудов «Биологические основы рационального кормления рыбы». Вып. 36. М.: ВНИИПРХ. С. 134-137.

Трофимова Л.Н., Щербина М.А. 1985. Питательная ценность рыбной муки в зависимости от технологии изготовления и сроков хранения // Тезисы докладов VI конференции по экологической физиологии рыб. Вильнюс. С. 526-528.

Трудова Н.В. 1988. Активность пищеварительных ферментов и переваримость искусственных кормов у канального сома при тепловодном выращивании // Сборник научных трудов «Интенсификация рыбного хозяйства внутренних водоемов». Вып. 288. Л.: ГосНИОРХ. С. 144-145.

Труфанов А.В. 1972. Биохимия витаминов и антивитаминов. М.: Колос. 328 с.

Трямкина С.П. 1973. Всасывание органических веществ в пищеварительном тракте форели в зависимости от качественного состава кормовых смесей и их агрегатного состояния // Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума по физиологии и патологи всасывания в желудочно-кишечном тракте. Одесса. С. 119-121.

Трямкина С.П. 1973а. Изучение физиологической ценности отдельных ингредиентов в рационах радужной форели // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по экологической физиологии рыб. М. С. 180-182.

Трямкина С.П. 1974. Влияние пшеничной муки на интенсивность пищеварительных и обменных процессов у радужной форели // Сборник научных трудов «Биотехника разведения и выращивания прудовых рыб» Вып. 10. М.: ВНИИПРХ. С. 182-191.

Трямкина С.П. 1977. Особенности пищеварения и использования питательных веществ у радужной форели в зависимости от различных факторов. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М. 21 с.

Трямкина С.П., Щербина М.А. 1974. Переваримость питательных веществ двухлетками радужной форели в зависимости от времени нахождения корма в пищеварительном тракте и частоты кормления // Известия ГосНИОРХ «Вопросы форелеводства». Т. 97. Л. С. 55-61.

Тутельян В.А. 1989. Результаты медико-биологической оценки кормового белка // Материалы всесоюзной межотраслевой научно-практической конференции «Получение и применение кормового микробного белка». М. С. 51-57.

Уголев А.М. 1960. О существовании пристеночного (контактного) пищеварения // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. Т. 49. № 1. С. 12-17.

Уголев А.М. 1967. Физиология и патология пристеночного пищеварения. Л.: Наука. 230 с.

Уголев А.М. 1985. Эволюция пищеварения и принципы эволюции функций. Л.: Наука. 544 с.

Уголев А.М. 1986. Новая теория питания // Наука и жизнь. № 8. С. 14-19; № 9. С. 54-60.

Уголев А.М., Кузьмина В.В. 1993. Пищеварительные процессы и адаптации у рыб. С.-П.: Гидрометеоиздат. С. 238.

Удостоверение качества на биотрин Канского биохимзавода, 1999.

Федорченко В.И., Катасонов В.Я., Багров А.М., Ефимова Е.Н. 1985. Рыбоводно-биологические нормы для эксплуатации прудовых хозяйств. М.: ВНИИПРХ. 54 с.

Филатов В.И. 1974. Потребление, усвоение и использование зоопланктона в процессе роста и обмена молодью карпа (Cyprinus carpio L.). Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М. 169 с.

Филатов В.И., Ширяев А.В., Слеппёв В.А., Сычев Г.А. 1989. Технология выращивания молоди карпа в установках с замкнутым циклом водообеспечения в режиме полицикла. М.: ВНИИПРХ. 23 с.

Филлипович Ю.Б. 1969. Основы биохимии. М.: Высшая школа. 574 с.

Хаблюк В.В. 1984. Очистка и свойства пищеварительных ферментов из гепатопанкреаса карпа. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. Краснодар.24 с.

Хасимото Е., Аоэ К., Икэда С., Окаити. 1975. Разведение рыб (пер. с яп.) Токио: Косэйся. 183 с.

Чернышов Н.И., Панин И.Г. 2000. Компоненты комбикормов. Воронеж: ВНИИКП. 122 с.

Черняев Н.П. 1985. Технология комбикормового производства. Н.: Агропромиздат. 255 с.

Чигринская Ю.Н. 1984. Потребление синезеленых водорослей белым толстолобиком и особенности его пищеварения. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. Днепропетровск. 28 с.

Шабалина А.А. 1964. Влияние хлористого кобальта на развитие и рост радужной форели (Salmo irideus Gib.) // Известия ГосНИОРХ «Физиология рыб в связи с акклиматизацией и рыборазведением». Т. 58. Л. С. 139-149.

Шабалина А.А. 1968. К вопросу о применении хлористого кобальта в прудовом рыбоводстве // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов. № 1. С. 40-42.

Шабалина А.А., Князева Л.М., Тимошина Л.А. 1979 Физиолого-биохимические особенности производителей форели, выращенных на рационах с введением крилевой муки // Тезисы докладов IV всесоюзной конференции «Экологическая физиология и биохимия рыб». Т. 1. Астрахань. С. 218-220.

Шабалина А.А., Князева Л.М., Тимошина Л.А., Комаров И.П. 1981. Введение крилевой муки в корма производителей форели с целью повышения качества потомства. // Сборник научных трудов «Выращивание лососевых рыб в садках и бассейнах». Вып. 166. Л.: ГосНИОРХ. С. 110-113.

Шварц С.С. 1960. Принципы и методы современной экологии животных // Труды института биологии УФ АН СССР. Вып. 21.Свердловск. 138 с.

Шеханова И.А. 1956. О возможности усвоения рыбами неорганического фосфора из воды. // ДАН СССР. Т. 106, № 1. С. 161-164.

Шлыгин Г.К. 1974. Секреторная деятельность тонкого кишечника // Руководство по физиологии. Физиология пищеварения. Л.: Наука. С. 453-471.

Шмаков Н.Ф., Гамыгин Е.А., Канидьев А.Н., Шмаков Д.Н. 2000. Малокомпонентные комбикорма для форели и других видов рыб на основе пшеничных зародышей и витазара // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет «Корма и кормление в аквакультуре». Вып. 2. М.: ВНИЭРХ. С. 1-16.

Шмаков Н.Ф., Гамыгин Е.А., Шмаков Д.Н., Канидьев А.Н. 1997. Результаты использования пшеничных зародошевых хлопьев и жмыха в комбикормах для радужной форели // Сборник научных трудов «Современные проблемы аквакультуры». Вып. 73. М.: ВНИИПРХ. С. 128-137.

Шоль А.В., Гамыгин Е.А. 2001. Комбикорма для рыб производства ЗАО «Ассортимент-Агро» // Материалы докладов научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития аквакультуры в России». 24-27 сентября 2001, г. Адлер. Краснодар. С. 154-155.

Шпарковский И.А. 1986. Физиология пищеварения рыб: Двигательная функция. Л.: Наука. 176 с.

Шпет Г.И. 1967. Эффективность использования пищи на рост у рыб и теплокровных животных // Рыбное хозяйство. № 5. Республиканский межведомственный сборник. Киев. С. 63-71.

Шутов В.А., Кузьмин С.Ю., Миронов С.Г., Бондаренко В.Ф., Щербина М.А. 1988. Инструкция по применению способов привлечения личинок карпа к стартовому комбикорму. М.: ВНИИПРХ. 14 с.

Шутов В.А., Кузьмин С.Ю., Миронов С.Г., Востроушкин Д.Н., Щербина М.А. 1992. О способах привлечения карпа и осетровых к искусственным комбикормам // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет «Корма и кормление рыб». М.: ВНИЭРХ. С. 16-18.

Щербина М.А. 1960. К методике изучения переваримости кормов карпом // Отчет о науч. исслед. работах ВНИИПРХ. 38 с.

Щербина М.А. 1964. Определение переваримости искусственных кормов у прудовых рыб при помощи инертного вещества // Вопросы ихтиологии Т. 4. Вып. 4. С. 672-678.

Щербина М.А. 1965. Использование инертных веществ для определения переваримости искусственных кормов и резорбции аминокислот организмом карпа. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. Киев. 20 с.

Щербина М.А. 1967. Переваримость питательных веществ по мере прохождения пищи по кишечнику карпа // Труды ВНИИПРХ «Вопросы прудового рыбоводства». Т. XV. М.: Пищевая промышленность. С. 40-53.

Щербина М.А. 1969. Методическое руководство по применению комплекса химических методов для определения переваримости искусственных кормов рыбами // Киев: УкрНИИРХ. 32 с.

Щербина М.А. 1970. Некоторые особенности процессов пищеварения у карпа (Cyprinus carpio L.) // Биологические процессы в морских и континентальных водоемах. Кишенев. С. 420.

Щербина М.А. 1971. Методика определения переваримости искусственных кормов рыбами с использованием инертных веществ. М.: ВАСХНИЛ. 35 с.

Щербина М.А. 1971а. Влияние ингибиторов протеиназ на питательную ценность соевого шрота как корма для карпа // Вопросы ихтиологии. Т 11. Вып. 6. С. 1118-1121.

Щербина М.А. 1973. Переваримость и эффективность использования питательных веществ искусственных кормов прудовыми рыбами. М.: Пищевая промышленность. 132 с.

Щербина М.А. 1973а. Изучение пищеварительных процессов у карпа (Cyprinus carpio L.). Сообщение I. Всасывание сырого жира искусственных кормов в кишечнике // Вопросы ихтиологии. Т. 13. Вып. 1. С. 119-127.

Щербина М.А. 1975. Физиологическая оценка питательности искусственных кормов для рыб // Вопросы ихтиологии. Т.15. Вып. 2. С. 338-345.

Щербина М.А. 1980. Физиологические закономерности пищеварения у рыб в связи с морфологическими особенностями пищеварительного тракта и экологическими условиями (на примере Cyprinus carpio L. и Salmo irideus Gibb.). Автореф. дисс. на соис. уч. ст. д-ра биол. наук. М.: ИЭМЭЖ. 52 с.

Щербина М.А. 1983. Методические указания по физиологической оценке питательности кормов для рыб. М.: ВАСХНИЛ. 83 с.

Щербина М.А. 1984. Особенности формирования химуса и всасывания питательных веществ у рыб с разным строением пищеварительного тракта // Актуальные проблемы экологической физиологии рыб. Биологические основы рыбоводства. М.: Наука. С. 245-274.

Щербина М.А. 1984а. Влияние качественных различий в питании и температуры среды на пластический обмен у рыб // Сборник научных трудов «Физиология основных объектов рыбоводства». Вып. 42. М.: ВНИИПРХ. С. 3-25.

Щербина М.А. 1984б. Изучение пищеварительных процессов у карпа (Cyprinus carpio L). Сообщение. 2. Всасывание азотсодержащих веществ и аминокислот в кишечнике двухлетних карпов при питании злаковыми и бобовыми // Вопросы ихтиологии. Т. 24. Вып. 5. С. 803-813.

Щербина М.А. 1984в. Инструкция по зимовке рыбопосадочного материала в прудах. М.: ВНИИПРХ. 33 с.

Щербина М.А. 1988. Нормы ввода и взаимозаменяемости компонентов в продукционных комбикормах для прудового карпа. М.: ВНИИПРХ. 14 с.

Щербина М.А. 1989. Об эндогенном питании сеголетков карпа в различные периоды зимовки // Вопросы ихтиологии. Т. 29. Вып. 1. С. 142-154.

Щербина М.А. 2000. Энергетическое питание карпа (Cyprinus carpio L.) и его источники // Тезисы докладов IX всероссийской конференции «Экологическая физиология и рыб». Т. 2. Ярославль. С. 208-209.

Щербина М.А. 2001. Об аминокислотном составе некоторых видов естественной пищи молоди рыб // Сборник научных трудов «Кормление и физиология рыб». Вып. 77. М.: ВНИИПРХ. С. 45-64.

Щербина М.А., Абросимова П.А., Сергеева Н.Т. 1985. Искусственные корма и технология кормления основных объектов промышленного рыбоводства. Ростов-на-Дону: АзНИИРХ. 47 с.

Щербина М.А., Бурлаченко И.В., Сергеева Н.Т. 1988. О химическом составе икры и потребностях двух видов черноморских кефалей в аминокислотах // Вопросы ихтиологии. Т. 2. Вып. 1. С 142-154.

Щербина М.А., Буховец Л.Д. 1992. Токсическое действие госсипола хлопчатникового шрота на карпа и возможные пути его детоксикации // Тезисы докладов VIII научной конференции по экологической физиологии и биохимии рыб. Т. 2. Петрозаводск. С. 170-171.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А. 2001. К истории исследований ВНИИПРХа по кормлению рыб (1932-2000 гг.) // Сборник научных трудов «Кормление и физиология рыб». Вып. 77. М.: ВНИИПРХ. С. 8-20.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Буховец Л.Д. 1996. Влияние экструзионной обработки на продуктивные свойства хлопчатникового шрота в комбикормах для карпа // Рыбоводство и рыболовство. № 3-4. С. 32.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Першина И.Ф., Салькова И.А. 2004. О питательных свойствах перьевой муки в кормлении карпа // Проблемы естественного и искусственного воспроизводства рыб в морских и пресноводных водоемах. Тезисы докладов международной научной конференции: Ростов-на-Дону 9-10 июня 2004 г. Ростов-на-Дону. С. 156-158.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Салькова И.А. 1996а. Влияние экструзии на питательную ценность кормового сырья для рыб // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет. Корма и кормление рыб. Вып. 2. М.: ВНИЭРХ. С. 1-11.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Салькова И.А. 1999. О доступности фосфора различных кормовых средств для карпа (Cyprinus carpio L.) // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и кормления рыб». Вып. 74. М.: ВНИИПРХ. С. 76-89.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Салькова И.А. 2000. Экструзия кормов для рыб: преимущества и недостатки // Материалы международной научно-практической конференции. «Пресноводная аквакультура в Центральной и Восточной Европе: Достижения и перспективы». Киев. С. 267-270.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Салькова И.А., Боева Т.М. 1992. Минеральный премикс к стартовому комбикорму РК-С3М для личинок карпа // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет «Корма и кормление рыб». Вып. 2. М.: ВНИЭРХ С. 1-6.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Салькова И.А., Першина И.Ф. 1999. Опыт применения продуктов переработки зародышевых хлопьев в кормлении карпа // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура. Информационный пакет «Корма и кормление рыб». Вып. 2. М.: ВНИЭРХ. С. 5-16.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А., Сапаров А.Д. 2002. Применение зерна при выращивании карпа в прудах // Рыбоводство и рыболовство. № 1. С 11-12.

Щербина М.А., Генералова Л.П. 1987. Переваримость основных питательных веществ и усвоение азота рыбной муки двухлетними карпами // Тезисы докладов конференции «Современное состояние и перспективы рационального использования и охраны рыбного хозяйства в бассейне Азовского моря». М. С. 97-98.

Щербина М.А., Гиряев А.С., Касаткина А.Е. 1999. Влияние условий питания молоди карпа (Cyprinus carpio L.) и белого амура (Ctenopharyngodon idella Val.) в летний период на обмен веществ и выживаемость в зимнее время // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и кормления рыб». Вып. 74. М.: ВНИИПРХ-НТЦ «Аквакорм». С. 127-147.

Щербина М.А., Казлаускене О.П. 1970. Переваримость питательных веществ соевого шрота, клещевинного жмыха, пшеницы и кормовой смеси двухлетним карпом // Рыбное хозяйство. Республиканский межведомственный тематический научный сборник. № 2. Киев: Урожай. С. 64-69.

Щербина М.А., Казлаускене О.П. 1971. Температурный режим воды и переваримость питательных веществ карпом // Гидробиологический журнал. Т. 7. № 3. С 49-53.

Щербина М.А., Казлаускене О.П. 1971а. Переваримость питательных веществ подсолнечного шрота, люпина, ржи и кормовой смеси двухлетним карпом // Вопросы ихтиологии. № 2. С. 319-324.

Щербина М.А., Казлаускене О.П. 1974 Влияние кислородного режима на переваримость питательных веществ карпом // Гидробиологический журнал. Т. 10. №3. С. 93-95.

Щербина М.А., Казлаускене О.П. 1975. Влияние уровня липидов в рационе не обмен веществ у карпа // Сборник научных трудов «Физиология прудовых рыб». Вып. 12. М.: ВНИИПРХ. С. 51-61.

Щербина М.А., Киселев А.Ю. 1985. Новый подход к нормированию кормления карпа // Рыбоводство № 2. С.4-6.

Щербина М.А., Киселев А.Ю. 1985а. Изменения химического состава и потери питательных веществ комбикормов в воде // Рыбное хозяйство. № 3. С. 38-41.

Щербина М.А., Киселев А.Ю., Зайцев В.Ф., Колобова И.Ю. 1986. Инструкция по кормлению сеголетков и двухлетков карпа, выращиваемых в прудовых хозяйствах. М.: ВНИИПРХ. 60 с.

Щербина М.А., Киселев А.Ю., Касаткина А.Е. 1992. Выращивание карпа в прудах (кормление). Минск: Ураджай. 136 с.

Щербина М.А., Линник Н.З., Кочеткова А.А. 1992. Возможные пути повышения переваримости питательных веществ комбикормов у рыб и способы их реализации // Тезисы докладов VIII научной конференции по экологической физиологии и биохимии рыб. Петрозаводск. Т. 2. С. 171-172.

Щербина М.А., Мочульская В.Ф., Эрман Е.З. 1970. Переваримость питательных веществ арахисового шрота, гороха, ячменя, и кормовой смеси двухлетним карпом // Вопросы ихтиологии. Т. 10. Вып. 5. С. 876-882.

Щербина М.А., Першина И.Ф. 1984. Потребление и переваривание основных питательных веществ и энергии комбикорма ВБС-РЖ при дозированной добавке к нему личинок хирономид // Сборник научных трудов «Физиология основных объектов рыбоводства». Вып. 42. М.: ВНИИПРХ. С. 46-54.

Щербина М.А., Першина И.Ф. 1988. Влияние различных количеств личинок хирономид (Chironomus thummi W.) на продуктивное действие комбикорма и обмен веществ у сеголетков карпа (Cyprinus carpio L.) // Сборник научных трудов «Современные проблемы экологической физиологии и биохимии рыб». Вильнюс. С. 271-284.

Щербина М.А., Рекубратский Н.В., Киселев А.Ю. 1987. Методические указания по оценке эффективности применения комбикормов в прудовых хозяйствах на основе определения суточных рационов рыб. М.: ВНИИПРХ. 40 с.

Щербина М.А., Салькова И.А. 1987. К вопросу о потребности карпа в аминокислотах // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и биохимии рыб». Вып. 52. М.: ВНИИПРХ. С. 80-84.

Щербина М.А., Салькова И.А. 1990. Изменения в химическом статусе карпов под влиянием антиоксидантов, стабилизирующих процессы окисления жиров в рыбной муке //

Тезисы докладов второго симпозиума по экологической биохимии рыб. Ярославль. С. 288-290.

Щербина М.А., Салькова И.А., Гамыгин Е.А. 1999. Влияние гидробаротермической обработки на питательную ценность белка и доступность аминокислот различных видов кормового сырья для карпов // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и кормления рыб». Вып. 74. М.: ВНИИПРХ. С. 55-76.

Щербина М.А., Салькова И.А., Гамыгин Е.А., Першина И.Ф. 2001. Питательная ценность рапсового шрота, изготовленного по схеме форпрессование-экстракция, в кормлении карпа // Материалы докладов научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития аквакультуры в России». Краснодар. С. 277-278.

Щербина М.А., Салькова И.А., Гамыгин Е.А., Самойленко В.А. 1999. О питательности нового вида кормовых дрожжей для карпа // II Международный симпозиум «Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре». Материалы докладов. Краснодар. С. 228.

Щербина М.А., Салькова И.А., Першина И.Ф. 1996. Физиолого-биохимическое обоснование применения новых видов сырья (белотина и биотрина) в кормлении карпа. Отчет НТЦ «Аквакорм». ВНИИПРХ. 56 с.

Щербина М.А., Салькова И.А., Першина И.Ф. 2001. Сырье и кормовые продукты для рыб // Рыбоводство и рыболовство. № 3. С. 16-19.

Щербина М.А., Салькова И.А., Трофимова Л.П. 1986. Питательная ценность риса в кормлении карпа // Сборник научных трудов «Биологические основы рационального кормления рыб». Вып. 49. М.: ВНИИПРХ. С 84-99.

Щербина М.А., Сапаров А.Д., Раденко В.Н. 1992. Технология комбинированного применения зерна совместно с комбикормами при выращивании двухлетков карпа в прудах. М.: ВНИИПРХ. 46 с.

Щербина М.А., Сергеева Н.Т., Линник Н.В., Алексеенко А.И. 1993. О питательной ценности для карпа и форели рыбной муки, изготовленной по прессово-сушильной и экстракционной схеме // Сборник научных трудов «Вопросы генетического и экологического мониторинга объектов рыбоводства». Вып. 70. М.: ВНИИПРХ. С. 96-111.

Щербина М.А., Сорвачев К.Ф. 1967. Доступность карпу аминокислот искусственных кормов // Рыбоводство и рыболовство. № 1. С. 14-15.

Щербина М.А., Титарев Е.Ф. 1972. Физиологическая оценка рационов для радужной форели, разработанных на основе местного сырья Алтайского края. Сообщение I. Питательная ценность гранулированного корма для двухлеток радужной форели // Сборник научных трудов «Индустриальные методы рыбоводства». Вып. 1. М.: ВНИИПРХ. С.156-170.

Щербина М.А., Трофимова Л.Н., Марма Б.Б., Кугавда Т.А. 1976. Влияние различных доз протосубтилина Г-3х на переваримость питательных веществ у двухлетков карпа. // Труды Всесоюзного НИИ прикладной энзимологии. Вып. 3. Вильнюс: Мокслас. С. 266-277.

Щербина М.А., Трофимова Л.Н., Салькова И.А. 1987. Питательная ценность кукурузы как компонента комбикормов для карпа // Сборник научных трудов «Вопросы физиологии и биохимии питания рыб». Вып. 52. М.: ВНИИПРХ. С 3-18.

Щербина М.А., Трофимова Л.Н., Салькова И.А., Гринь А.В. 1986. Доступность аминокислот углеводородных дрожжей для карпа // Вопросы ихтиологии. Т. 26. С. 1010-1015.

Щербина М.А., Трямкина С.П. 1973. Об интенсивности переваривания основных питательных веществ в пищеварительном тракте радужной форели // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по экологической физиологии рыб. М. С. 180-182.

Щербина М.А., Трямкина С.П. 1973а. Локализация всасывания основных органических веществ у рыб с различным строением пищеварительного тракта // Тезисы докладов II Всесоюзного симпозиума по физиологии и патологии всасывания в желудочно-кишечном тракте. Одесса. С. 141-143.

Щербина М.А., Трямкина С.П. 1974. Влияние кормовых дрожжей на питательную ценность рациона для двухлеток радужной форели // Известия ГосНИОРХ «Вопросы форелеводства». Т. 97. Л. С. 62-66.

Щербина М.А., Трямкина С.П. 1975. Метод оценки влияния отдельных ингредиентов на питательную ценность рациона для рыб // Сборник научных трудов «Физиология прудовых рыб». Вып. 12. М.: ВНИИПРХ. С. 91-96.

Щербина М.А., Трямкина С.П., Трофимова Л.П., Щербина Т.В. 1976а. Значение исследований пищеварения у рыб для повышения эффективности кормления // Тезисы докладов совещания «Биологические основы разработки рецептуры гранулированных кормов для выращивания товарной рыбы». Л. С. 12-14.

Щербина М.А., Цветкова Л.И. 1974. Сравнительное исследование сеголетков карпа 4-х генотипов. Сообщение II. Переваримость основных органических веществ кормовой смеси // Сборник научных трудов «Биотехника разведения и выращивания прудовых рыб». Вып. 10. М.: ВНИИПРХ. С. 160-168.

Щербина М.А., Чяпулис Р.Я., Гамыгин Е.А. 2000. Питание и рост молоди карпа (Cyprinus carpio L.) в зависимости от источника фосфора в рационе // Корма и кормление в аквакультуре. Информационный сборник. Вып. 3. М.: ЦНИИТЭИРХ. С. 1-25.

Щербина М.А., Эрман Е.З. 1969. Изучение переваримости искусственных кормов прудовыми рыбами. Сообщение II. Переваримость питательных веществ конопляного и горчичного жмыхов, овса и кормовой смеси двухлетним карпом // Сборник научно-исследовательских работ «Прудовое хозяйство». Вып. 2. М.: ВНИИПРХ. С. 153-168.

Эрман Е.З. 1969. Об азотсберегающем эффекте углеводов у карпа // Вопросы ихтиологии. Т. 9. Вып. 4. С. 760-762.

Эрман Е.З. 1970. Переваривание углеводов искусственных кормов двухлетками карпа. Автореф. дисс. на соис. уч. ст. канд. биол. наук. М. 23 с.

Эрман Е.З. 1970а. Всасывание различных сахаров в кишечнике двухлетков карпа // Вопросы ихтиологии. Т. 10. Вып. 4. С. 719-723.

Aoe H., Masuda I., Abe I., Saito T. et al. 1970. Nutrition of protein in young carp I. Nutritive value of free amino acids // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. V. 36.

Albrektsen S., Wathne E. 1997. Vitamin E – et kvalitetsbegrep // Norsk Fiskeoppdr. N 8. S. 34-35, 37.

Arai, S., Nose, T., Kaeatsu, Y. 1974. Effects of mineralis supplemented to a fish meal diet on growth of eel, Anguilla japonica. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.

Bajkov A.D. 1935. How to estimate the consumption fish under natural condition // Frans. Am. Fish. Vol. 32.

BASF, 1997. Рекламный проспект фирмы по производству витаминных препаратов BASF. 50 с.

Bell M.V., Henderson R.J., Sargent J.R. 1986. The role of polyunsaturated fatty acids in fish // Comp. Biochem. Physiol. 83B. P. 711-719.

Beltran M., Saiz E., Fernandes-Borras J., Medale F. et al. 2004. A stable isotope (^{13}C) approach to analyse protein carbon flow in rainbow trout and gilthead sea bream: effect of diets // Intern. Conf. Biotechnologies for quality: Aquaculture Europe 2004. Barcelona, Spain, October 20–23, 2004. P. 748-749.

Bergot F. 1979. Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition // Aquaculture 18. P. 157-167.

Bergot F. 1993. Digestibility of native starches of various botanical origins by Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) // Fish Nutrition in Practice. IV Intern. Sympos. On Fish Nutrition and Fiding. INRA, Paris. P. 857-865.

Bergot P., Solari A., Luquet P. 1975. Comparaison des surfaces absorbanntes des caecals pyloriques et de l'intestin chez la truite arc-en-ciel (Salmo gardneri Rich.) // Ann/ Hydrobiol., V. 6 (1).H/ 27-43.

Bergot F., Breque J. 1983. Digestibility of starch by rainbow trout: effects of physical state of starch and of the intake level // Aquaculture. 34. P. 203-212.

Brug, C., Ridler, N. 2004. Global aquaculture outlook in the next decades: an analysis of national aquaculture production forecasts to 2030. FAO Fisheries Circular, No 1001, Rome, FAO. 47p.

Chiou J.Y., Ogino C. 1975. Digestibility of starch in carp // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 41. P. 465-466.

Cho C.Y. 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimate of energy and protein requirement // Aquaculture. 100. P. 107-123.

Cho C.Y. 1993. Digestibility of Feedstuffs as a Major Factor in Aquaculture Waste Management // Fish Nutrition in Practice. Ed INRA Paris (Le Collogues № 61). P. 365-374.

Cho C.Y., Cowey C.B. 1991. Reinbow trout (Oncorhynchus mykiss) // Handbook of Nutrient Requirements of Finfish. CRC. Press. Florida. P. 131-141.

Cho C.Y., Kaushik S.J. 1985. Effects of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. // (eds) Fish feeding and nutrition. Academic Press. London. P. 95-117.

Cho C.Y., Kaushik S.J. 1990. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (Salmo gairdneri) // World Rev. Nut. Diet. 61. P. 132-172.

Cho C. Y., Slinger S.J., Bayley H.S. 1982. Bioenergetic of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity // Comp. Biochem. Physiol. 73B. P. 25-41.

Choubert G., Fauconneau B., Luquet P. 1991. Influence d'une elevation de la temperature de l'eau sur la digistibilite de la matiere seshe, de l'azote et l'energie de l'aliment distribue a la truite arc-en-ciel (Salmo gairdneri Rich.) // Reprod. Nutr. Develop.12. N 6. P. 941-949.

Corraze G. 1994. Nutrition lipidique des poisons: improrтance et consequences // La piscicult. franc. № 117: 25-36.

Corraze G. 1999. Nutrition lipidique // Nutritionet alimentation des poissons et crustaces: INRA, IFREMER. P. 147-170.

Cowey C.B. 1988. The Nutrition of Fish: The Developing scene // Nutrition Research Rev. P. 255-286.

Cowey C.B., Luquet P. 1983. Physiological basis of requirements of fishes. Critical analysis of allowances. // Protein Metabolism and Nutrition. Vol 1. I.N.R.A., Paris. P. 365-384.

Dabrowski K.R. 1981. Triptophan requirement of common carp // Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernдhrung und Futtermittelkund. T. 46. N 1-2. S. 64-71.

Dabrowski K., Dabrowska H. 1981. Digestion of protein by rainbow trout (Salmo gairdneri Rich) and absorption of amino acids within the alimentary tract // Comp. Biochem. and Physiol. V. 6. N 1. P. 99-111.

Dabrowski K., Rusiecki M. 1983. Content of total and free amino acids in zooplanktonic food of fish larvae // Aquaculture. 30. № 1-4. P. 31-42.

Deacon M., Boer D., Kenelly J. 1988. Influence of fetsploding and destruction on ruminal and intestinal disappearance of canalo and soybeans // J. Dairy Sc. 71 s.

Debort-Laval J., Mercier Ch. 1976. Evaluation de diverts traitements technologies des cereals // Ann. Zootech. 25 (1). P. 3-12.

Dedi J. a.o. 1995. Hypervitaminosis and safe levels of vitamin A for larval flounder (Paralichthys olivaceus) fed Artemia nauplii // Aquaculture. V. 133. N 2. P. 135-146.

De Long D.C., Halver J. E., Mertz E.T. 1958. Nutrition of salmonoid fihes. Protein requirevents of chinoock salmon at two water temperature // J. Nutr. 65. P. 589-599.

Dixon D.G., Hilton J.W. 1985. Effect of Available Dietary Carbohydrate and water Temperature on the Chronic Toxicity of Water borne Copper to Rainbow Trout (Salmo gairdneri) // Canad. J. Fisher. and Aquatic Sciences. V. 42. N 5. P. 1007-1013.

Dosdat A. 1992. L'excrйtion ches les poissons Teleosteens // PISC. FRANC. 108, P. 25-37.

Eckhardt O. 1983. Zum Protein- und Energiebedarf wachsender Spiegel Karpfen (C. C. L.). // Z. Fierphysiol, Fierenдhs. u. Futtermittelkd. № 4/5. S. 260-265.

Eid A.E., Ghonim S.I. 1994. Dietary zinc requirement of fingerling Oreochromis niloticus // Aquculture N 2/3. V. 119. P. 259-264.

Ellis R., Smith R.R. 1984. Determining fat digestibility in trout using a metabolic chamber // Progr. Fish.-Cult. V. 46. N 2. P. 116-119.

Eya J.C., Lovell R.T. 1997. Net absorption of dietary phosphorus from various inorganic sources and effect of Fundal phytase on net absorption of plant phosphorus by Channel catfish (Ictalurus punctatus) // J. of the World Aquac. Society. V. 28 N 4. P. 386-391.

Francesco M., Parisi G., Mecatti M., Scappini F. et al. 2004. High level of fish meal replacement by plant proteins in gilthead sea bream (Sparus aurata). II. Effects on semsory, physical and chemical traits during shelf-life // Intern. Conf. Biotechnologies for quality: Aquaculture Europe 2004. Barcelona, Spain, October 20-23, 2004. P. 279-280.

Garcia-Gallego M., Bazaco J., Sanz A., Saurez M.D. 1993. A comparative study of the nutritive utilization of Dietary Carbohydrates by eel and trout // Fish Nutrition in Practice. IV Intern. Sympos. on Fish Nutrition and feeding. INRA. Paris. P. 939-943.

Gas N., Noaillac-Depeyre J. 1981. Structure de l'appareil digestif. I. Organisation ultrastructure et fonction du tube digestif des tйlйostйens dйau douce // M. Fontain, Nutrition des Poissons, CNRS, Paris. P. 19-44.

Gatlin D.M., Phillips H.F. 1989. Dietary calcium, phytate and zinc interactions in channel catfish // Aquaculture 79. P. 259-266.

Gatlin D.M., Robinson E.H., Poe W.E., Wilson R.P. 1982. Magnesium requirement of fingerling channel catfish and sings of magnesium deficiency // Br. J. Nutr. 112. P. 1182-1187.

Gatlin D.M., Scarpa J. 1993. Dietary calcium source and level affects growth and bone mineralisation of channel catfish // Fish Nutrition in Practice, Biarritz (France), June 24-27, 1991 Ed INRA, Paris (Les Colloques, n°61). P. 179-185.

Gatlin D.M., Wilson R.P. 1983. Dietary zinc requirement of fingerling channel catfish. // J. Nutr. 113. P. 630-635.

Gatlin D.M., Wilson R.P. 1984. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. // J. Nutr. 114. P. 627-633.

Gatlin D.M., Wilson R.P. 1986. Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish. // Aquaculture 52. P. 191-198.

Gomes E., Rema P., Kaushik S. 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diets of rainbow trout (Onc. mykiss) digestibility and growth performance // Aquaculture, 130. P. 177-186.

Gouillou-Coustans M.-F., Guillaume J. 1999. Nutrition vitaminique // Nutrition et alimentation des poisons et crust aces. INRA, IFREMER. P. 187-212.

Gropp J.M., Tacon A.G.J. 1994. Report of the EIFAC workshop on methodology for determination of nutrient requirement in fish, Eichenau, Germany, 29 june-1st July 1993. EIFAC Occasional Paper n°29, Rome, FAO, 92 p.

Guillaume I., Choubert G. 1999. Physiologie digaestive et digestibilite des nutriments chez les poisons // Nutrition et alimentation des poisons et crust aces. Paris Inra, Ifremer. P. 51-85.

Halver J.E. 1970. Gold-water fish nutritional requirements // Report of the 1970 work-shop on Fish feed technology and nutrition. FAO/EIFAC and USDI/BSFW. Washington. P. 141-152.

Halver J.E. 1975. Essential amino acids and ideal pattern for fish // X Intern. Congr. Nutrition. Kyoto, Japan.

Halver J.E. 1976. Formulating practical diets for fish // J. Fish. Res. Board Canada. V. 33. N 4.

Halver J.E. 1982. The vitamins required for cultivated salmonids // Comp. Biochem. Physiol 73B. P. 43-50.

Halver J.E. 1989. Fish Nutrition. 2nd ed. Academic Press. San Diego. 798 p.

Halver J.E., Bates L.S., Mertz E.T. 1964. Protein requirements for sockeye salmon and rainbow trout // Fed. Proc. Fed. Am. Soc. Exp. Biol. V. 23. P. 1778.

Halver J.E., Felton S., Palmisano A.N. 1993. Efficacy of L-ascorby1-2-sulfate as vitamin C source for rainbow trout // Fish Nutrition in Practic, Biarritz (France). Ed. INRA. Paris. P. 137-147.

Hardy R.W. 2001. Fish feed and nutrition – alternatives to fish oil // Aquacult. Mag. V. 27. N 4. P. 49-51.

Herold M.A., Hung S.S.O. 1995. Apparent digestibility coefficient of carbohydrates for white Sturgeon // Progr. Fish. Cult. V. 57. N 2. P. 137-140.

Hilton J.W. 1987. The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish // Proc. II Int. Symp. Fish Nutrition, Bergen, Norway (personal comm.).

Hilton J.W., Atkinson J.L., Slinger S.J. 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (Salmo gairdneri) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40. P. 81-85.

Hilton J.W., Atkinson J.L., Slinger S.J. 1986. Effect of propylene glycol on feed digestibility and the growth and physiological response of rainbow trout // Can. J. Anim. Sci. 66. P. 1057-1063.

Hilton J.W., Hodson P.V., Slinger S.J. 1980. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (Salmo gairdneri) // J. Nutr. 110. P. 2527-2535.

Hossain M., Jauncey K. 1993. The effects of varying dietary phytin acid, calcium and magnesium levels on the nutrition of common carp, Cyrrinus carpio L. // Fish Nutrition in Practice, Biarritz, Paris (Le colloquies, 61). P. 705-715.

Huisman E. 1984. (цит. по Щербине, Киселеву, Касаткиной, 1992).

Hulihan D., Mac Millan D.N., Iaurent P. 1986. Growth, rates, protein synthesis and deposition in rainbow trout: effect of body size // Phisiol. Zool. 59. P. 482-493.

Ichii T., Mugiya Y. 1983. Effects of a dietary deficiency in calcium on growth and calcium uptake from the aquatic environment in the goldfish, Carassius auratus // Comp. Biochem. Phtsiol., 74A. P. 259-262.

Iwai T. 1968. Fine structure and absorption patterns of intestinal epithelial cells in rainbow trout alevius // Z. Zellforsch, 91. P. 366-379.

Iwai T. 1969. Fine structure of gut epithelial cells of larvae and juvenile carp during absorption of fat and protein // Arch. Histol. Jap. 30. P. 183-199.

Jančařik A. 1964. Die Verdauung der Hauptnärstoffe deim Karpfen // Z. Fish. Bd 12, N 8-9.

Jauncey K. 1982. Carp (Cyprinus carpio L.). Nutrition – review // Recent advances in Aquaculture. London – Canberra. P. 216-263.

Jauncey K. 1995. Advances freshwater fish nutrition // From Feed to Food. May 17-18. Utrecht. The Netherlands. P. 186-201.

Jauncey K., Tacon A.G.J., Jackson A. 1983. In Proc. Int. Symp. Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel, University of Tel Aviv. P. 328-337.

Jongbloed A.W. 1997. Phosphorus in the feeding of pigs // Central Veevoder bureau, Runderweg 6, 8219 pk, Lelystad.

Kanazawa A. 1985. Essential fatty acid and lipid requirement of fish // Fish feeding and Nutrition. Academic Press, London.

Kapoor B., Smit H., Verighina I. 1975. The alimentary canal and digestion in teleosts // Adv. mar. Biol. Vol. 13. P. 109-239.

Kaushik S. 1983. Le bilan azote chez le poisson // Ichtyophysiol. acta. 7. S. 89-113.

Kaushik S.J. 1985. Criteres biochimiques d'estimation de besoins nutritionels chez le poisson // Oceanis 12(4). P. 223-228.

Kaushik S. 1990. Nutrition et alimentation des poisons et contrфl des dйchets piscicoles // Pisc. Franc. № 101. P. 14-23.

Kaushik S. 1995. Protein nutrition and metabolism in fish // Protein metabolism and Nutrition. Proceedings of the 7. Intern. Symp., Vall de Santarew (PRT) /05/ P. 47-56

Kaushik S., Cuzon G. 1999. Besoin nutritionnels formules tables de rationnement et donnйes diversйs // Nutrition et alimentation des poisson et crustacйs: INRA ed. IFREMER. P. 457-470.

Kaushik S., Dabrowski K. 1983. Nitrogen and energy utilization juvenile carp (Cyprinus carpio) fed casein, aminoacids or a protein – free diet // Reprod. Nut. Dev., 23, 4. P. 741-754.

Kaushik S., Luquet P. 1976. Etudes de la digestibilitй des acides aminйs de rйgimes б base de zйine ches la Truite arc-en-ciel // Ann. Hydrobiol. 7. P. 11-19.

Kaushik S.J., Medale F., Fauconneau B., Blanc D. 1989. Effect of digestible carbohydrates on protein/energy utilization and on glucose metabolism in rainbow trout (Salmo gairdneri R.) // Aquaculture, 79. P. 63-74.

Ketola H.G. 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus // Trans. Am. Fish. Soc. 104. P. 548-551.

Ketola H.G. 1977. Nutrient Requirement of Warm water // Fishes-Comruittee on Animal Nutrition Board on Aquaculture and Renewable Resources National Acad. of Sci. Washington D.C. P 69.

Ketola H.G. 1982. Amino acid nutrition of fishes: requirements and supplementation of diets // Comp. Biochem. Physiol. 73B. N 1. P. 17-24.

Ketola H.G. 1983. Requirement for dietary lysine and arginine by fry of rainbow trout // J. Anim. Sci. V. 46. P. 101-107.

Kim J.D., Kim K.S., Song J.S., Le J.Y., Jeong K.S. 1998. Optimum level of dietary monocalcium phosphate based on growth and phosphorus excretion of mirror carp, Cyprinus carpio // Aquaculture. V. 161. N 1-4. P. 337-344.

Knox D., Cowey C.B., Adron J.W. 1984. Effect of dietary zinc intake upon copper metabolism in rainbow trout (Salmo gairdneri) // Aquaculture 40. P. 199-207.

Koenig I. 1977. Les vitamines et les oligo elements la nutrition des poisons // Am. Inst. M. Pacha. № 10. 100-127.

Kurzinger H., Schwarz F.J., Kirchgessner M. 1986. Measurements of digestibility of food in carp (Cyprinus carpio L.) // Animal Physiology and Animal Nutrition. V. 56(4). P. 208-217.

Lall S.P. 1979. Minerals in finfish nutrition // Finfish Nutrition and Fish Feed Technology. Vol. 1. H/Heinemann, Berlin. P. 75-87.

Lall S.P. 1989. The minerals // Fish nutrition (ed. Halver J.E.) San Diego ect: Acad. Press. Inc. P. 219-257.

Lall S.P. 1990. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish // In: C.B. Cowey et C.Y. Cho (Eds), Proceeding of the first international symposium on feeding fish in our water: nutritional strategies and aquaculture waste 5-8 06. 1990, Guelph, Ontario, Canada.

Li M.H., Robinson E.H. 1996. Phosphorus availability of common feedstuffs to channel catfish (Ictalurus punctatus) as measured by wright gain and bon mineralisation // J. of the World Aquacult. Soc. V. 27. N 3. P. 297-302.

Lovell R.T. 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish (Ictalurus punctatus) // Trans. Amer. Fish. Soc. V. 107. N 4. P. 617-621.

Lovell T. 1996. Selenium in fish feeds: nutritional, environmental and legal aspect // Aquacult. Mag. V. 22. N 1. P. 76-81.

Lovell R.T., G.E. El Naggar. 1990. Vitamin C activity for L-ascorbic acid, L-ascorbyl-2-sulfate, and L-ascorbyl-2-phosphate Mg for Cannel Catfish // In: The current status of fish nutrition in aquaculture (M. Takeda and T. Watanabe, eds) Proc. 3rd Int. Symposium on Feeding and Nutrition in Fish. Japan Translation Center, Ltd., Tokyo. P. 159-165.

Lowe A.T. 1986. Digestibility of low-cost ingredients in pelleted feed by grass carp (Ctenopharyngodon idella C.) // Aquaculture. 51. N 2. P. 97-103.

Lowe R., Apelt I. 1989. Einfeuss des Herstellungsprozesses von Mischfutter auf die Vitamin E – stabilitat // Kraftfutter 72.5. P. 164-168.

Luquet P. 1991. Tilapia Oreodromis sp. // In Hand-book of Nutrient Requirements of Finfish. CRC. Press. Florida. P. 169-180.

Luquet P., Bergot F. 1976. Evaluation de divers traitements technologiques des сйrйales. VII. Utilisation de mais pressй, floconnй, expansй et extrudй dans l'alimentation de la truite arc-enciel. Ann. Zootech., 25. P. 63-69.

Mambrini M., Guillaume J. 1999. Nutrition protein // Nutrition et alimentation des poisons et crustaces. INRA, IFREMER. P. 113-146.

March B., Hiokling D. 1982. Assessment of heat damage to protein digestibility from fish meals by in vitro pepsin solubilization et different temperatures // Can. I. Amin. Sci. 62. № 9. P. 657-660.

Marchetti M. a.o. 1999. Leaching of crystalline and coated vitamins in pelleted and extruded feeds // Aquaculture. V. 171. N 1-2. P. 83-91.

Marchetti M. a.o. 1999. Stability of crystalline and coated vitamins during manufacture and storage of fish feeds // Aquacult. Nutr. V. 5. N 1. P. 115-120.

Martinez-Polacios C.A. 1988. Digestibility studies in juveniles of the mexican cichlid, Cichlasoma urophthalmus (G.) // Aquacult. and Fish Manag. 19 N 4. P. 347-354.

Mertz E. 1969. Amino acids protein requirement of fish // Fish in Resedich. Acad. Press. New York and London. P. 233-244.

Meyer-Burgdorff K.-H., Mьller C., Becker K., Gьnther K.D. 1989. Determination of energy metabolism in mirror carp (C.C.U.) at maintenance and different production levels // L. Anim. Phisiol. a. Anim. Nutr. 62. P. 75-84.

Murai T., Andrews J.W. and Smith R.G. 1981. Effect of dietary copper on channel catfish // Aquaculture, 22. P 353-358.

Nakamura Y. 1982. Effects of dietary phosphorus and calcium contents on the absorption of phosphorus in the digestive tract of carp // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 48 (3). P. 409-413.

Neji H., Naimi N., Lallier R., De la Noье J. 1993. Relationships between feeing, hypoxia, digestibility and experimentally induced furunculosis in rainbow trout // Fish Nutrition in Practice, Biarritz (France), June 24-27 1991. Ed INRA, Paris (Les Colloques, n°61). P. 187-197.

Noaillac-Depeyre J., Gas N. 1973. Mise en йvidence d'une zone adaptйe au transport des ions dans l'intestin du carp commune (Cyprinus carpio L.) // C. R. Acad. Sci. (Paris) V. 276. P. 773-776.

Nordrum S., Asgard T., Shearer K.D., Arnessen P. 1997. Availability of phosphorus in fish bone meal and inorganic salts to Atlantic salmon (Salmo salar) as determined by retention // Aquaculture. V. 157. N 1-2. P. 51-56.

Nose T. 1960. On the digestion of food protein by gold fish (Carassius auratus L.) and rainbow trout (Salmo irideus G.) // Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo. 10. P.11-22.

Nose T. 1978. Summary report on the requirement of essential amino acids for carp // EIFAK Symp. Finfish. Nutr. and Feed technol. EIFAK I Symp. E. 8.

Nose T. 1979. Summary report on the requirement of essential amino acids for carp // Fish Nutrition and Fishfeeding Technol. Proc. World Symp. Hamburg, 1978, 1. Berlin. P. 145-154.

Nose T., Arai S. 1979. Recent advances in studies on mineral nutrition of fish in Japan // In: T. V. R. Pilllay and W.A. Dill (Editors), Advances in Aquaculture. Fishing News Books. Ltd., Farnham, Surrey. P. 584-590.

Nose T., Arai S., Lee D. 1974. A not on amino acids essential for growth of young carp // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. V. 40.

Noüe J., Choubert G. 1986. Digestibility in rainbow trout: comparasion of the direct and indirect methods of measurement // The Progressive Fish-Culturist 48. P. 140-195.

NRC (National Research Council). 1981. Nutrient requirements of domestic animals. Nutrient requirements of coldwater fishes. National Academy Press. Washington DC. 63 p.

NRC. 1983. Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes. Nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press. Washington DC. USA.

Ogino C. 1973. Методика исследований определения кормовой ценности белков // (пер. с японского) Суйсан дзосоку. Т. 20. № 4-5. С. 219-229.

Ogino C. 1979. The present situation of studies on fish nutrition // Proceeding of the Seventh Japan-Soviet Joint Symp. on aquacult. Tokai University. Tokyo. P. 11-18.

Ogino C. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids // Bull. Jpn. Soc. Scient. Fish. 46. P. 171-174.

Ogino C., Chiou J.Y. 1976. Mineral requirements in fish. II. Magnesium requirement of carp // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 42. P. 71-75.

Ogino C., Takeda H. 1976. Mineral requirements in fish. III. Calcium and phosphorus requirements in carp // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 42. P. 793-799.

Ogino C., Takeda H. 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44. P. 1019-1022.

Ogino C., Takeuchi T., Takeda H., Watanabe T. 1979. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 45. P. 1527-1532.

Ogino C., Yang G-Y. 1978. Requirements of rainbow trout for dietary zinc // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44. P. 1015-1018.

Ogino C., Yang G-Y. 1979. Requirements of carp for dietary zinc // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 45. P. 967-969.

Ogino C., Yang G-Y. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 46. P. 455-458.

Palmer T.M., Ryman B.E. 1972. Studies of oral glucose intoleranse in fish // J. Fish Biol. 4. P. 311-319.

Pfeffer E. 1982. Ernдhrungs physiologische Fragen zur Intensivhaltung von Forellen und Karpfen // Kraft futter. 65. N 2. 48, 50, 52.

Phillips A.M. 1969. Nutrition, digestion and energy utilization // In Fish. Physiology (ed. by Hoar W.S. end Randall D.) Vol. 1. Pp. 391-432.

Phillips A.M. 1970. Trout feeds and feeding. Manual of Fish Culture. Part 3 management. sec. B., Hatchery operations. Ch 5. 49 p.

Phillips A.M., Donald L. 1965. The effect of changes in protein quality, calorie sources and calorie levels upon the growth and chemical composition of brook trout // Cortland Haichary Report N. 34 for the year 1965. Fish. Res. Bull. N 29., State of New York Conservation Department, Albany, N.Y. p. 6.

Phillips A.M., Tunison A.V., Brockway D.R. 1948. The utilization of carbohydrate by trout // Fish. Res. Bull. N 11, New York State Conservation Department, Albany, N.Y.

Plakas S., Katayama T. 1981. Apparent digestibility of amino acids from three regions of gastrointestinal tract of carp (Cyprinus carpio L.) after ingestion of a protein and a corresponding free amino acid diet // Aquaculture. V. 24. n 3-4. P. 309-314.

Plakas S.M., Lee T.-C., Wolke R.E., Meade T.L. 1985. Effect of Maillard browning reaction on protein utilization and plasma amino acid response by rainbow trout (Salmo gairdneri) // J. Nutr. 115. №12. P. 1589-1599.

Poilot T., Noüe J. 1988. Apparent digestibility in rainbow trout (Salmo gairdneri): influence of hypoxia // Can. J. Fish. Acuat. Sci. 45. P. 2003-2009.

Radunz-Neto. 1994. Lipid supplementation of casein-based diets for carp (Cyprinus carpio L.) larvae //Aquaculture v. 128-№ 1/2. P. 153-161.

Reinitz G., Orme L., Lenim C., Hitzel F. 1978. Differential performance of four strains of rainbow trout reared strandardidized conditions // Prog. Fish. Cult. 40. 1. P. 21-23.

Robinson E.H. 1989. Channel catfish nutrition // Rev. Aquat. Sci. V. 1. Iss. 3. P. 365-391.

Robinson E.H., Jackson L.S., Li M.N. 1986. Supplemental phosphorus in practical channel catfish diets // J. of the World Aquacult. Soc. V. 27. N 3. P. 303-308.

Robinson E.N., Rowles S.D., Yette H.E. & Greene L.W. 1984. An estimate of dietary calcium requirement of fingerling tilapia aurea reared in calcium-free water // Aquaculture 41. P. 389-393.

Rørnsrud R., Graff I.E., Høie S. et al. 2002. Hypervitaminosis A in first-feeding fry of the Atlantic salmon (Salmo salar L.) // Aquacult. Nutr. V. 8. N 1. P. 7-13.

Rumsey G.L. 1983. Niacin and cultured fishes. Feed Intern. 4, 11. P. 41-50.

Sakamoto S., Yone Y. 1978. Requirement of red sea bream for dietary iron-II // Bull. Jap. Soc. Scient. Fish. 44. P. 223-225.

Santigosa E., Medale F., Kaushik S., Gallardo M.A. 2004. Modifications of amino acid and glucose uptake in response to diet fish meal replacement in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) // Intern. Conf. Biotechnologies for quality: Aquaculture Europe 2004. Barcelona, Spain, October 20-23, 2004. P. 717-718.

Satoh S., Izume K., Takeushi T., Watanabe T. 1987. Availability to rainbow trout of zinc contained in various types of fishmeals // Nippon Suisan Gakkaishi 53. P. 1861-1866.

Satoh S., Yamamoto H., Takeuchi T., Watanabe T. 1983. Effects on growth and mineral composition of carp on deletion of trance elements or magnesium from fish meal diet // Nippon Suisan Gakkaishi, 49. P. 431-435.

Schliffra W. 1987. Verdaulichkeitsbestimmung von Einzelfuttermitteln beim Europaischen Aal (Anguilla anguilla L.) // Diss. Doct. Agrarwiss. Hohen Landwirst. Fak. Rhein. Friedrich-Wiehelms-Univ. Bonn. 67 p.

Shcherbina M., Gamygin E., Sal'kova I. 1997. Availability of phosphorus from main dietary sources in common carp, Cyprinus carpio L. // Živočišná výroba 42 (3). P. 125-130.

Shcherbina M., Pershina I. 1990. Changes in combied feed productive effect with various amounts of Chironomus thummi larvae and Daphnia magna present in carp ration - EIFAC/FA O Symposium on Production Enhancement in Still Water Pond Culture, Prague, Czechoslovakia, 15-18 May. Symp. E. 39.

Shcherbina M.A., Pershina I.F. 1995. Availability of amino acids of chironomid larvae, pelleted feed mixture and their combination in juvenile common carp (Cyprinus carpio L.) // Praha: Živočišná výroba , 40 (7). P. 319-324.

Shiay S.Y. 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish-with particular reference to tilapia, Oreochromis niloticus x O. aureus // Aquaculture. V. 151. N 1-4. P. 79-96.

Shearer K.D. 1988. Dietary potassium requirement of juvenile Chinook salmon // Aquaculture 73. P. 119-129.

Shulman G.E., Love R.M. 1999. The Biochemical Ecology of marine fishes // Alvances in Marine biology. V. 36. P. 350.

Silver G., Higgs D., Dosanjh B., McKeown B. et al. 1993. Effect of dietary protein to lipid ratio on growth and chemical composition of Chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) in sea water // Fish Nutrition in Practice, Biarritz, June 24-27 1991, Ed. INRA. Paris (Le Colloques, n° 61). P. 459-466.

Sitja-Bobadilla A., Gomes-Requeni P., Medale F., Kaushik S., Perez-Sanchez J. 2004. Fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (Sparus aurata): effects on growth performance and non-specific defence mechanisms // Intern. Conf. Biotechnologies for quality: Aquaculture Europe 2004. Barcelona, Spain, October 20-23, 2004. P. 745-746.

Smith R. 1969. Intestinal amino acid transportation the marine teleost, Haemulon plumieri // Comp. Biochem. Phisiol. V. 30. P. 1115-1123.

Smith R., Peterson M.C., Allred A.C. 1980. Effect of leaching on apparent digestion coefficients of feed staffs for salmonids // Progressive Fish-Culturist 42. P. 195-199.

Spyridakis P., Metailler R., Gabaudan J., Riaza A. 1989. Studies on nutrient digestibility in European sea bass (Dicentrarchus labrax). I. Methodological aspects concerning faeces collection // Aquaculture 77. P. 61-70.

Sugiura S.H., Dong F.M., Rathbone C.K., Hardy R.W. 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feed // Aqyaculture. V. 159. N 3, 4. P. 177-202.

Tacon A.G.J., Cowey C.B. 1985. Protein and amino acid requirement // In: P. Tytler and P. Calow, Fish energetics. New perspectives. Croom Helm, Londres, Sydney. P. 155-183.

Tacon A.G.J., Rodrigues A.M.P. 1984. Comparison of chromic oxide, crude fibre, polyethylene and acid insoluble ash as dietary markers for the estimation of apparent digestibility coefficients in rainbow trout // Aquaculture 43. P. 391-399.

Tacon A., De Silva S. 1983. Mineral composition of some commercial fish feed avail bee in Europe // Aquaculture, 31 № 1. P. 11-20.

Takeuchi T., Nakazoe J. 1981. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. V. 47. № 3. P. 347-352.

Takeuchi T., Satoh S., Watanabe T. 1983. Requirement of Tilapia nilotica for essential fatty acids // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49. P. 1127-1134.

Takeuchi T., Watanabe T. 1977. Dietary levels of methyl laurate and essential fatty acid requirement of rainbow trout // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 43. P. 893-898.

Takeuchi T., Watanabe T. 1977a. Requirement of carp for essential fatty acids // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 43. P. 541-551.

Theshima S.T., Kanazava A., Itoh S. 1993. L-ascorbil-2-phosphate-Mg as a vitamin C source for the Japanese flounder (Paralichthys olivacues) // Fish Nutrition in practice. Biarritz (France). June 24-27 1991. Paris: Ed INRA. P. 158-166.

Torrisen K., Lied E., Espe M. 1994. Differences in digestion and absorption of dietary protein in atlantic salmon (Salmo salar) with genetically different trypsin isozymes // J. Fish. Biol. 45. N 6. P. 1087-1104.

Vielma J., Lall S.P. 1998. Phosphorus utilization by atlantic salmon (Salmo salar) reared in freshwater is not influenced by higher dietary calcium intake // Aquacult. V. 160. N 1, 2. P. 117-128.

Watanabe T. 1982. Lipid nutrition in Fish // Comp. Biochem. Phisiol. 73B. P. 3-15.

Watanabe T. 1984. Fish feeds and their quality // Trend and problems in aquaculture development. Proceeding of the 2nd International Conference on aquaculture. Verona. P. 190-217.

Watanabe T. 1985. Importance of the study of broodstock nutrition for further development of aquaculture // In: "Nutrition and feeding in fish" P. 395-414. Edited by C.B. Cowey, A.M. Mackie and J.G. Bell. Academic Press, London.

Watanabe K. 1995. a.o. Hjertesprekk (CMS): Forersaket av virus? // Norsk Fiskeop. N 21. S. 28-29.

Watanabe T., Kirov V., Satoh S. 1997. Trace minerals in fish nutrition // Aquaculture. V. 151. N 1-4. P. 185-207.

Watanabe T., Kitajama C., Fujita S. 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish // Aquaculture. V. 34. P. 115-134.

Watanabe T., Ohta M., Kitajama C., Fujita S. 1982. Improvement of dietary value of brine shrimp Artemia salina for fish larvae by feeding them on ω3 highly unsatured fatty acids // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 48 (12). P. 1775-1782.

Watanabe T., Takashima F., Ogino C. 1974. Effect of dietary methyl linoleate on growth for rainbow trout // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 40. P. 181-188.

Watanabe T., Takeuchi T., Ogino C. 1975. Effect of dietary methyl linoleate and linoleate on growth of carp. II // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 41. P. 263-269.

Watanabe T., Takeuchi T., Ogino C. 1980. Effects on rainbow trout and chum salmon of delecion of trance elements from fish meal diet // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46. P. 1521-1525.

Watanabe T., Utsue O., Kobayashi I., Ogino C. 1975. Effect of dietary methyl linoleate and linoleate on growth of carp. I // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 41. P. 257-262.

Webster C.D. a.o. 1997. Growth and body composition of channel catfish (Ictalurus punctatus) fed diets containing various percentages of canola meal // Aquaculture. V. 150. N 1, 2. P. 103-112.

Wilson R.P. 1984. Quantitative amino acid requirements for channel catfish // VI Int. Symp. Prot. Metabol. fnd Nutrition. Clermont-Ferrand, France. P. 5-9.

Wilson R. 1989. Amino acids and protein // In: Halver J.E. ed., Fish nutrition., 2nd ed. Academic Press, San Diego (USA). P. 111-151.

Wilson R.P. 1991. Ictalurus punctanus // Handbook of Nutrient Requirements of Finfish. CRC. Press. Florida. 196 p.

Wilson R.P., Poe W.E., Robinson E.H. 1989. Evolution of L-ascorbyl-2- polyphosphate (AsPP) as dietary ascorbic acid source for channel catfish // Aquqculture, 81. P. 129-136.

Wilson R.P., Robinson T.H., Gatlin D.M. & Poe W.E. 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish // J. Nutr. 112. P. 1197-1202.

Wilson R.P., Robinson T.H., Poe W. 1981. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for channel catfish // J. Nutr. 111. P. 923-929.

Windell J., Foltz J., Sarocon J. 1978a. Effect of fish size, temperature and amount feed on nutrient digestibility by rainbow trout, Salmo gairdneri // Trans. Am. Fish. Soc. 107 (4). P. 613-616.

Windell J.T., Foltz J.W., Sarocon J.A. 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies // The Progressive Fish-Culturist. V. 40. N 2. P. 51-55.

Wojno T., Dabrowska H. 1978. Badanie strawnosce skladuikow pokarmowych mieszanek paszowych dla pstraga o zwiekszonym udziale maczki sojowej // Zesz. nauk. Akad. roln.-techn. w Olsztynie, Ochrona wod i rybactwo srodladowe (7): 147-159.

Wurts W.A. 2001. Review of feeding practices for channel catfish production // World Aquacult. V. 32. N 4. P. 16-17.

Yamamoto T. 1966. An electron micrroscop study of the columnar epithelial cell in the intestine of fresh water Teleosts. Goldfish and rainbow trut. // Z. Zellforsch., V. 72,1. P. 66-87.

ПРИЛОЖЕНИЕ

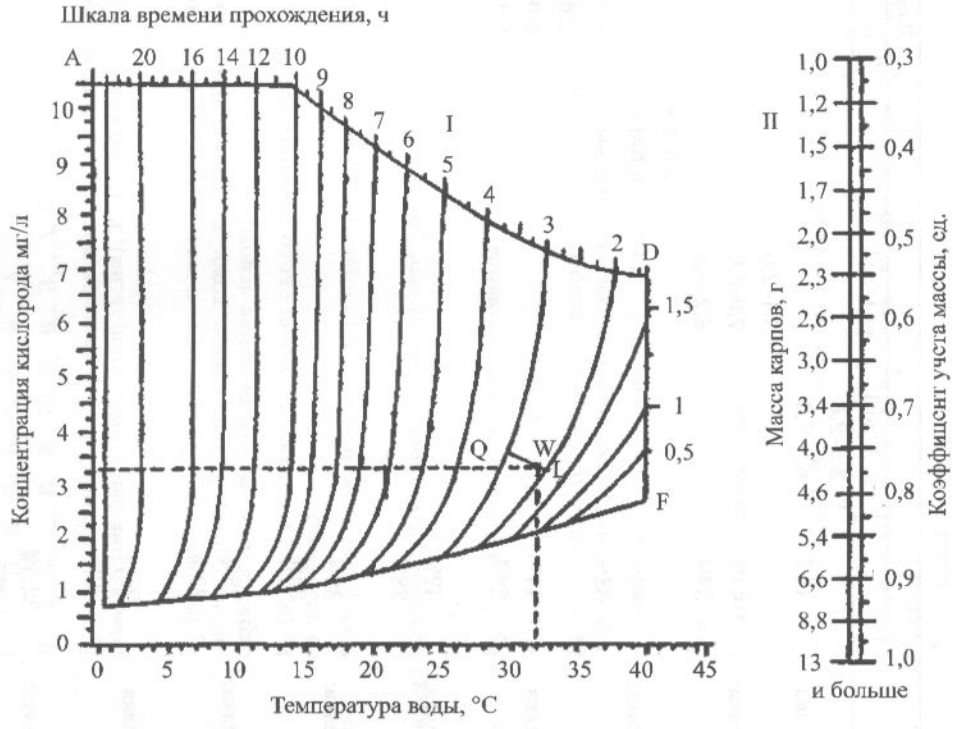


Диаграмма для определения времени прохождения пищи через кишечник карпа

Таблица 1. Потребности карпа в белке в зависимости от размеров рыб и температуры воды (при 22–23°С и 17–18°С) и суточные нормы кормления при различном уровне белка в комбикорме (к/к) и выращивании рыб, % от массы рыб (концентрация кислорода в воде 6 мг/л) в тепловодных хозяйствах индустриального типа

Показатели		Длина (см)/масса (г) рыб								
		до 3/до 1	до 4/до 2	до 5/до 4	до 7/до 8	до 8/до 10	до 16/до 80	до 20/до 200	до 30/до 500	>30/>500
Потребность в белке		3,5–2,6								
Норма к/к при уровне белка	44%	8,0–6,0								
Потребность в белке			3,1–2,6							
Норма к/к при уровне белка:	44%		7,0–6,0							
	38%		8,2–6,8							
Потребность в белке				2,6–1,8						
Норма к/к при уровне белка:	44%			6,0–4,0						
	38%			6,8–4,7						
Потребность в белке					2,6–1,3					
Норма к/к при уровне белка:	44%				6,0–3,0					
	28%				9,3–4,6					
Потребность в белке						2,1–1,3				
Норма к/к при уровне белка:	42%					5,0–3,0				
	28%					7,5–4,6				
Потребность в белке							1,6–1,2			
Норма к/к при уровне белка:	32%						4,6–3,4			
	26%						6,2–4,6			
Потребность в белке								1,5–1,1		
Норма к/к при уровне белка:	28%							5,4–3,9		
	23%							6,5–4,8		
Потребность в белке									1,2–0,75	
Норма к/к при уровне белка	26%								4,6–2,9	
	20%								6,0–3,8	
Потребность в белке										0,98–0,33
Норма к/к при уровне белка:	32,5%									3,0–1,0
	23%									4,3–1,4
	20%									4,9–1,6

Примечание. Потребность в белке выражается в % от массы рыб в сутки, слева – при 22–23 °С, справа – при 17–18 °С.

Таблица 2. Визуальные признаки гипо- и авитаминозов у карпов [по Щербине и др., 1992]

Признаки	Витамины
Потеря аппетита	B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_7, B_8, B_C, B_{12}, A_1
Торможение роста	B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_C, B_{12}, A, E
Нарушение движений	B_6 (координация), B_3 (замедление движений и легкие судороги), B_6 (координация, судороги, ненормальное плавание), B_7 (замедление движений, конвульсии), E, B_6 (возбудимость)
Светобоязнь	B_2
Изменения на коже	B_1 (выцветание), B_3 (дерматит и шелушение), B_5 (помутнение глянца), B_6 (воспаление), B_7 (побледнение кожи и исчезновение пигментации), B_8 (шелушение кожи, у личинок эрозия около спинного плавника), B_C (потемнение окраски), A (у личинок белая окраска тела), B_6 (отслаивание чешуи)
Изменения плавников	B_8 (эрозия и обнажение мышц около спинного плавника, его исчезновение у личинок, ломкость у молоди) B_C (ломкость хвостового плавника)
Изменения в позвоночнике	С (вертикальное искривление–лордоз, горизонтальное –сколиоз), Д – снижение зольности скелета
Изменения глаз:	
экзофтальмия (выпучивание)	B_3 (незначительное), B_6 (незначительное) A, E
помутнение хрусталика	B_2, C
нарушение пигментации	B_2, A (сухость и тусклость роговицы)
кровоизлияния	A (в глазном яблоке у личинок)
Изменение жабр	B_3 (отечность, булавовидные разрастания на дужках, некроз, атрофия, рубцевание), B_6 – (деформация жаберных крышек), A (утолщение перепонок и дужек, искривление жаберных крышек)
Поражение печени и поджелудочной железы	B_4 (жировое перерождение), B_6, E (поражение паренхимы), A (атрофия)
Отеки в полости	A, E, B_6
Изменения мышц	E (атрофия мышечных волокон)
Кровоизлияния:	
внешние	B_1 (под кожей), B_2 (на коже, плавниковой кайме и оболочках глаз), B_3 (на коже), B_5 (на коже у основания хвостового плавника), B_6 (под кожей), C (точечные на коже), A (основание жабр у личинок)
внутренние	B_4 (кишечник, почки), B_2 (поджелудочная железа), B_7 (задняя часть кишечника), C (точечные в печени, почках, кишечнике, мышцах)
застой крови	B_1 (в плавниках)
Анемия	B_3, B_6, B_C, B_{12}, E, K, A
Повышение смертности	B_2, B_5, B_6

Таблица 3. Рекомендуемые дозировки витаминов в комбикормах для лососевых рыб (на 1 кг воздушно-сухого корма)

Витамин	Для молоди	Для рыб старших возрастов						Диапазон встречаемых дозировок
	ПФ-1М	ПФ-2В	ПФ-3В[1]	П-114-2	Kaushik, Cuzon, 1999 г.	Фирма "BASF", 1997 г.	Фирма "Hoffmann La Roch"[2], 1997 г.	
А (ретинол), И.Е.	17000	15000	10000	5000	2000	12000	4000–8000	700–25000
$Д_3$ (холекальциферол), И.Е.	3500	3000	3000	2000	2400	1500	2000–2500	0; 1500–3000
Е (α-токоферол), мг	20	20	200	22,5	50	120	200–400	20–120
$К_3$ (менадион), мг	5	2,5	10	3	10	10	8–12	0; 2,5–30
С (аскорбиновая к-та), мг[3]	500	500	500	300	10-50	200	150–300[4]	10; 150–500
$В_1$ (тиамин), мг	15	15	15	15	1,5	20	10–20	1–50
$В_2$ (рибофлавин), мг	30	30	20	30	4	40	20–30	3–50
$В_3$ (пантотеновая к-та), мг	50	50	50	40	12	70	40–60	10–80
$В_4$ (холин), мг	500	500	1000	500	3000	1000	500–1000	0; 500–3000
$В_5$ (РР, никотиновая к–та), мг	200	175	100	300	10	140	150–200	10; 75–150
$В_6$ (пиридоксин), мг	17	15	15	6	3	10	15–25	3–50
$В_7$ (биотин, Н2), мг	–	–	–	–	0,15	1	0,8–1,0	0; 0,015–1,5
$В_8$ (инозитол), мг	–	–	–	–	–	400	–	0; 200–1000
$В_C$ ($В_9$, фолиевая к-та), мг	5	5	5	4	5	2	6–10	1,5–20
$В_{12}$ (цианкобламин), мг	0,07	0,05	0,05	0,05	0,015	0,04	0,03–0,05	0,01–0,07

[1]Имеет в составе минеральные элементы в количествах (мг элемента/кг корма): Fe – 100; Cu – 4; Zn – 100; Mn – 15; Co – 0,1; I – 0,7; Se – 0,15; Mg – 500; Mo – 0,5; антиоксидант–агидол – 200 мг/кг.

[2]Для мальков и рыб на откорме дозировка должна быть увеличена на 30%.

[3]Витамин С должен скармливаться в форме аскорбилфосфата.

[4]Для лучшего заживления ран, стимуляции иммунной системы в зимний период вводить дополнительно 100 мг/кг.

Таблица 4. Рекомендуемые дозировки витаминов в комбикормах для карпов (на 1 кг воздушно-сухого корма)

Витамин	Для молоди		Для рыб старших возрастов							Диапазон встречаемых дозировок
	ПМ-1	ПМ-2[1]	П-12-75[2]	П-111-4	ПК-П[3]	Фирма "BASF"	Kaushik, Cuzon, 1999 г.	Фирма "ЗИГЛЕР"	Фирма "Hoffmann La Roch"	
А (ретинол), И.Е.	15000	15000	10000	8000	10000	10000	1500–2000	8000	8000–11000	8000–20000
$Д_3$ (холекальциферол), И.Е.	3000	2000	2000	1800	1250	1250	1500	900	1500–2000	900–3000
Е (α-токоферол), мг	–	–	45	–	50	80	80–300	20	100–300	0; 20–80
$К_3$ (менадион), мг	2,5	2,5	5	–	5	10	–	4	5–10	0; 2,5–15
С (аскорбиновая к-та), мг	500	230	300	–	200	150	100–150	–	150–250[4]	0; 60–500
$В_1$ (тиамин), мг	15	15	15	10	17	15	2–3	–	10–20	0; 10–20
$В_2$ (рибофлавин), мг	30	30	30	6	16	25	4–5	3,6	15–20	3,6–30
$В_3$ (пантотеновая к-та), мг	50	37	40	20	34	30	25–40	7	40–50	7–60
$В_4$ (холин), мг	–	–	1000	–	500	500	500–3000	160	600–1000	0; 70–4000
$В_5$ (РР, никотиновая к-та)	100	100	60	25	25	70	30–50	20	80–120	20–150
$В_6$ (пиридоксин), мг	–	–	10	–	15	10	4–10	0,2	8–12	0;0,2–20
$В_7$ (биотин, $Н_2$), мг	–	–	–	–	–	0,5	1–1,5	–	0,5–1,0	0; 0,3–1,0
$В_8$ (инозитол), мг	–	–	–	–	–	400	200–440	–	–	0; 200–440
$В_C$ ($В_9$, фолиевая к-та), мг	5	4	4	–	3	1	35	–	4–7	0; 1–7
$В_{12}$ (цианкобламин), мг	–	–	0,05	0,05	0,05	0,03	–	0,05	0,02–0,05	0; 0,02–0,05
			Минералы, мг элемента/кг корма							
Железо		10		10			20	20		
Медь		2,5		2,5			2	2		
Цинк		18		18			50	60		
Марганец		10		10			30	70		
Кобальт		0,2		0,2			0,2	0,2		
Йод		0,5		–			0,9	1,0		
Селен		0,1		–			–	–		

[1]Для подрощенной молоди карпа.

[2]Для молоди тепловодного карпа и форели.

[3]Для мальков и рыб на откорме в тепловодных хоз-вах доза на 30% больше указанной, при заболеваниях – в1,5–2,0 раза; при экструдировании – в 1,5 раза; при выращивании карпов в прудах должна быть снижена на 30–50%.

Таблица 5. Рекомендуемые дозировки витаминов для различных объектов аквакультуры (на 1 кг воздушно-сухого корма)

Витамин	Осетровые, премикс ПО-4	Канальный сом					Угри продукционные
		молодь, фирмы Италии	продукционные			диапазон встречаемых дозировок	
			фирма "La Roch"	фирма "BASF"	фирмы Италии		
А (ретинол), И.Е.	7500	20000	4000	10000	17000	4000–23500	23500
$Д_3$ (холекальциферол), И.Е.	3500	2000	2000	1250	1700	1250–2000	2000
Е (α-токоферол), мг	100	30	33	80	25	25–80	60
$К_3$ (менадион), мг	2,5	–	4	10	–	0; 4–10	–
С (аскорбиновая к-та), мг	500	–	450	150	–	0;150–450	–
$В_1$ (тиамин), мг	30	10	10	15	7	7–15	10
$В_2$ (рибофлавин), мг	30	20	12	25	14	12–25	23
$В_3$ (пантотеновая к-та), мг	50	55	32	30	38	30–55	50
$В_4$ (холин), мг	500	1500	–	500	1000	0; 500–1500	1000
$В_5$ (РР, никотиновая к-та), мг	200	120	80	70	80	70–120	120
$В_6$ (пиридоксин), мг	17	–	10	10	–	0;8–10	8
$В_7$ (биотин, $Н_2$), мг	–	–	–	0,5	–	0;0,5	0,5
$В_8$ (инозитол), мг	–	–	–	–	–	0	–
$В_C$ ($В_9$, фолиевая к-та), мг	5,0	–	2	1	–	0, 1–3	3
$В_{12}$ (цианкобламин), мг	0,07	0,05	0,01	0,03	0,03	0; 0,01–0,03	0,03
Минералы (мг элемента/кг корма)							
Железо	100	20	40		40		40
Медь	4	5	5		5		5
Цинк	100	20	115		20		20
Марганец	15	34	120		35		35
Кобальт	0,1	0,7	1,0		0,7		0,7
Йод	0,7	1,0	2,5		1,0		1,0
Селен	0,015	–	–		–		–
Магний	500	–	–		–		–
Молибден	0,5	–	–		–		–

Таблица 6. Рекомендуемые нормы ввода и заменяемости компонентов в продукционных комбикормах для прудовых карпов с учетом соотношения незаменимых аминокислот: 1 – для сеголеток, племенного молодняка, производителей, 2 – для товарных рыб (по Щербине, 1988)

Вид сырья	Диапазон ввода, % к набору сырья		Возможные замены, % на 1 % компонента	Условия применения или замены
	1	2		
Пшеница	0–50	0–65	Ячмень-1,0; сорго (С)-1,5; Рожь (Р)-1,0; рис и его отходы (Рс)-1,3	(С) не более 20% в корме; (Р) не более 10% в корме; (Рс) не более 10% в корме
Ячмень (без пленок)	0-50	0–65	Пшеница-1,0; ржаные отруби (Ро)-0,5; рожь-0,75	(Ро) не более 20% в корме; (Р) не более 10% в корме
Ячмень (цельное зерно)	0–30	0–50	Пшеница-1,0; ржаные отруби-0,1; рожь-0,75; рис и его отходы-1,3	(Рс) не более 10% в корме
Рожь	0–5	0–10	Овес-1,0; пшеница-1,0; ячмень-1,5	
Овес	0–5	0–10	Пшеница-1,0; рожь-1,0; ячмень-1,4	
Кукуруза	0–10	0–20	Пшеница-0,5; ячмень-0,5	Помол кукурузы $d_{ср} \leqslant 0,6$ мм
Сорго	0–20	0–25	Пшеница-0,75; ячмень-0,75; рис-1,0; пшеничные отруби-0,5	
Просо	0–10	0–15	Пшеница-0,75; ячмень-0,75; рожь-0,75; овес-0,5; рис-1,0; сорго-1,0	
Рис и его отходы	0–5	0–10	Пшеница-0,5; ячмень-0,5; рожь-0,5; сорго-1,0; кукуруза-1,0	
Пшеничные отруби	0–7	0–12	Пшеница-0,8; ячмень-0,8; сорго-1,0; ржаные отруби-1,0	
Ржаные отруби	0–5	0–10	Рожь-1,0; пшеница-0,8; пшеничные отруби-0,8	
Горох	0–20	0–20	Соевый шрот-0,65; люпин-0,8	
Люпин кормовой и другие безалкалоидные бобовые	0–20	0–20	Горох-1,2; соевый шрот-0,7	
			Жмыхи и шроты	
Подсолнечные	0–20	0–25	Соевые-0,75	
Соевые	0–20	0–25	Горох-1; подсолнечные-1,2	
Арахисовые	0–10	0–20	Подсолнечные-1,0; соевые-0,75	
Хлопчатниковые (Хл)	0-0	0-30	Подсолнечные-0,75; соевые-0,5; арахисовые-0,8	(Хл) не применяются совместно с рапсовыми и клещевинными. Желательна комбинация с пшеницей 1:1
Конопляные	0–25	0–35	Соевые-1,0; подсолнечные-1,3	
Рапсовые (Рп)	1–10	0–20	Конопляные-0,7; соевые-0,7; подсолнечные-0,9	(Рп) не применяются совместно с хлопчатниковыми и клещевинными
Льняные (Лн)	0–5	0–10	Подсолнечные-0,9; соевые-0,8; конопляные-0,8	(Лн) не применяются совместно с рапсовыми и клещевинными
Клещевинные (Кл)	0–0	0–0,5	Подсолнечные-0,8; конопляные-0,7; рапсовые-0,9; льняные-1,0; соевые-0,6	(Кл) не применяются совместно с хлопчатниковыми, льняными, горчичными, рапсовыми

Окончание табл. 6

Вид сырья	Диапазон ввода, % к набору сырья		Возможные замены, % на 1 % компонента	Условия применения или замены
	1	2		
Дрожжи кормовые гидролизные, гиприн (Ги)	2–4	2–4	Паприн-0,7; эприн-0,8; "витазар"-0,8	
Дрожжи кормовые углеводородные, БВК, паприн	4–16	4–9	Рыбная мука-1,0; эприн-1,1; шрот пшеничных зародышевых хлопьев "витазар"-1	(БВК) при максимальном вводе можно сочетать с рапсовыми, подсолнечными, хлопчатниковыми, конопляными шротами, пшеницей
Дрожжи на синтетическом этиловом спирте (эприн)	4–10	2–9	Паприн-0,9; "витазар"-1	То же
Травяная мука	0–2	0–3	Мука из древесной зелени-1,0	
Мука рыбная	5–16	2–8	Мука крилевая-1,0; паприн-1,0	Для сеголеток заменять на паприн не более половины общего количества рыбной муки
Мука крилевая	3–6	3–8	Рыбная мука-1,0; паприн-1,0	То же
Мука мясокостная	0–9	0–16	Рыбная мука-0,5; крилевая-0,5	Необходима экструзия
Мука костная	0–2	0–2		

Таблица 7. Рекомендуемые нормы ввода кормового сырья в комбикорма для рыб (по Jauncey, 1995)

Ингредиенты	Хищные рыбы			Всеядные и растительноядные рыбы		
	диапазон применения	средние значения	рекомендуемый максимум	диапазон применения	средние значения	рекомендуемый максимум
Рыбная мука	25–75	50	80	0–60	25	80
Рыбный протеиновый концентрат	5–10	8	15	2–8	3	10
Крилевая мука	5–20	10	25	–	–	25
Мука из печени	5–65	25	50	0–45	20	35
Мясокостная мука	5–30	10	25	3–78	15	35
Кровяная мука	2–30	9	15	1–50	12	20
Мясоперьевая мука	3–55	7	15	2–21	9	20
Креветочная мука	5-30	10	25	5–15	7	25
Кукуруза	2–15	8	20	10–33	26	35
Кукурузный глютен	4–20	10	15	4–17	10	20
Хлопчатниковая мука	–	–	15	7–80	25	35
Рапсовый шрот	10–30	15	20	5–63	25	35
Рисовые отруби	5–15	10	15	3–75	25	35
Сорго	–	–	20	10–57	18	35
Соевая мука	6–45	15	25	4–69	25	40
Соевый шрот	10–30	15	25	10–58	30	40
Семена подсолнечника	–	–	15	10–70	26	35
Пшеничная мука	4–33	15	20	4–25	15	35
Пшеничные отруби	2–25	10	15	10–50	25	35
Пшеничные отходы	2–38	16	25	2–42	20	40
Кормовые дрожжи	2–62	15	50	5–56	10	50
Отходы пивоварения	5–15	10	15	10–86	25	35
Водорослевая и травяная мука	1–5	3	5	3–60	22	30

Таблица 8. Порядок лимитирования для карпа доступных незаменимых аминокислот в различных видах комбикормового сырья (в скобках указаны скоры, %)*

Вид сырья	Аминокислоты
	Сырье растительного происхождения
Злаковые:	
Пшеница	Лизин (30), метионин (48)
Ячмень	Лизин (46), метионин (53)
Рожь	Лизин (45), метионин (48)
Овес	Валин (37), метионин (48), лейцин (50), изолейцин (52), лизин (54), фенилаланин (63), треонин (65)
Просо	Метионин (9), лизин (12), аргинин (53), гистидин (63)
Кукуруза	Лизин (18), метионин (36), аргинин (52)
Кукурузный глютен**	Лизин (27), аргинин (55)
Рис	Метионин(21), лизин (22), треонин (56), гистидин (64)
Сорго	Метионин (12), лизин (15), аргинин (52), треонин (53)
Пшеничные отруби	Лизин (46)
Ржаные отруби	Изолейцин (22), лизин (52), лейцин (56), валин (61), фенилаланин (65)
Бобовые:	
Горох (гран./экструд.)	Метионин (14/15)
Люпин	Метионин (38), лизин (51), валин (59), фенилаланин (62)
Жмыхи и шроты:	
Рапсовый шрот (гран./экструд.)	Лизин (67/76)
Хлопчатниковый шрот	Лизин (21), метионин (43), изолейцин (52)
Соевый шрот (гран./экструд.)	Метионин (44/53), лизин (67/нет)
Клещевинный жмых	Метионин (20), лизин (25), фенилаланин (36), изолейцин (63)
Подсолнечный жмых	Лизин (51), метионин (66)
Подсолнечный шрот (гран./эструд.)	Лизин (61/53)
Конопляный жмых	Лизин (47)
Горчичный жмых	Лизин (40), метионин (52), изолейцин (53), лейцин (64)
Льняной шрот	Лизин (44), гистидин (55)
Арахисовый шрот	Изолейцин (15), метионин (31), валин (52), лизин (54)
	Сырье животного происхождения
Рыбная мука	Лимита нет
Крилевая мука	Лимита нет
Кальмаровая мука	То же
Мясокостная мука (гран./экструд.)	Фенилаланин (49/нет), изолейцин (51/нет)
Кровяная мука**	Изолейцин (25), метионин (38), аргинин (55)
Перьевая мука**	Гистидин (11), лизин (14), метионин (28), фенилаланин (56
	Сырье микробиального происхождения
Гидролизные дрожжи (гиприн)	Треонин (42), метионин (48), гистидин (66)
Углеводородные дрожжи (БВК, паприн)	Метионин (67)
Этанольные дрожжи (эприн)	Метионин (40/90)

*Перечисляются аминокислоты, имеющие скор менее 70%.

**Для валовых аминокислот.

Таблица 9. Содержание основных жирных кислот в растительных маслах

Вид масла	Жирные кислоты, % общей суммы							
	Насыщенные			Мононенасыщенные			Полиненасыщенные	
	пальмитиновая 16:0	стеариновая 18:0	арахиновая 20:0	олеиновая 18:1n-9	эйкозамоноеновая 20:1n-9	эруковая 22:1n-4	линолевая 18:2n-6	линоленовая 18:3n-3
Подсолнечное	3,5–8	1,5–5	–	15–31	–	следы	59–73	0,2–1,7
Льняное	3,8–6	2,2–5	–	13–21	–	0–0,3	14–24	45–61
Соевое	6,5–15	3–5	–	18–31	–	–	44–57	6–9
Хлопковое	19–25	1–3	–	17–30	–	–	45–57	0,2–0,7
Рапсовое:								
из эруковых сортов	2–5,4	0,8–2	–	8–24	6–10	34–54	11–23	14–22
из безэруковых сортов	3–4	1,0	–	40–60	0–19	0–1	13–27	6–12
Арахисовое	10–11	3–4	1,2	40–59	1,0	–	20–38	0,3–1
Оливковое	8–18	2–3,6	–	55–78	–	–	6–22	0,4–1,6
Горчичное	2–4	0–1,2	–	19–25	–	39–52	10–20	12–21
Кукурузное	8–13	0,7–3	–	23–31	–	–	54–67	–
Сорго	13	1,3	–	29	–	–	44	7
Гороховое	6–10	2–3,5	–	16–25	–	–	53–63	6–13
Люпиновое	10	1,5	–	56	3,4	0,9	15	10
Пальмовое:								
жидкое	43,5	4,3	–	36,6	–	–	9,1	0,2
сухое	53,1	25,2	0,5	15,4	0,1	–	4,4	0,2
Фосфатиды:								
подсолнечные	10–17	4,3	–	17–24	–	–	54–68	0,8
льняные	11	11	–	34	–	–	21	17
хлопковые	22	5	–	18,8	–	–	50,6	–
Линетол	–	–	–	34	–	–	19	41

Примечание. Источники: Ржавская, 1976; Сергеева, 1984; 1989; Corraze, 1999; Radunz-Neto, 1994; Hardy, 2001.

Таблица 10. Жирнокислотный состав животных и рыбных жиров, % общей суммы

Жирные кислоты		Виды жиров												
Название	Код	Говяжий (2)	Свиное сало (2)	Кальмара (2)	Фосфолипиды гонад кальмара (2)	Трески (4)	Печени трески (3)	Тихоокеанской сельди (4)	Атлантической сельди (1)	Анчоуса (1)	Мойвы (1)	Карпа (4)	Леща (4)	Фосфолипиды яичного желтка (3)
Насыщенные														
В том числе:														
Миристиновая	14:0	6,2	2,8	6,2	2,0	2,8	6,4	7,3	–	–	–	1,0	4,1	0,1
Пальмитиновая	16:0	24,7	24,3	17,1	25,7	22,9	13,7	15,9	12,7	17,4	12,7	19,2	18,2	31,0
Стеариновая	18:0	20,0	12,5	1,9	5,4	2,9	1,9	1,8	0,9	4,0	1,8	7,8	3,8	16,0
Сумма		50,9	39,6	25,2	33,1	28,6	22,0	25,9	13,6	21,4	24,5	28,4	26,7	46,1
Мононенасыщенные														
В том числе:														
Пальмитоолеиновая	16:1n-7	4,1	2,6	4,8	1,1	2,9	7,7	8,3	8,8	10,5	11,1	9,4	22,9	1,0
Олеиновая	18:1n-9	36,5	43,0	18,8	2,6	14,3	24,7	22,0	12,7	11,6	17,0	50,8	31,4	24,6
Эйкозамоноеновая	20:1n-9	–		4,8	8,2	2,9	3,9	10,9	14,1	16	18,9	2,4	3,2	0,2
Докозамоноеновая	22:1n-4	–		–	–	1,4	–	12,1	20,8	12	14,7	0,2	0,6	–
Нервоновая	24:1n	–		1,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сумма		40,6	45,6	30,2	11,9	22,9	36,3	53,3	56,4	50,1	61,7	62,8	58,1	25,8
Полиеновые														
В том числе:														
Линолевая	18:2n-6	2,5	9,4	2,6	8,0	–	5,6	1,1	1,1	1,2	1,7	6,6	4,7	15,2
Линоленовая	18:3n-3	0,6	0,7	3,6	1,5	–	2,4	0,5	0,6	0,8	0,4	0,8	3,2	0,1
Октадекатетраеновая	18:4n-3	–	—	–	–	–	2,6	2,1	–	–	–	0,2	2,0	–
Арахидоновая	20:4n-6	0,1	0,5	0,6	1,0	2,9	0,7	0,8	0,3	0,1	0,1	0,5	2,3	5,3
Эйкозапентаеновая	20:5n-3	–	–	15,9	16,0	17,1	9,5	8,8	8,4	17,0	4,6	0,5	0,9	–
Докозапентаеновая	22:5n-3	–	–	0,9	0,5	2,9	5,9	1,4	0,8	1,6	0,3	0,2	–	0,1
Докозагексаеновая	22:6n-3	–	–	18,8	26,7	28,6	1,6	6,1	4,9	1,8	3,0	–	–	1,4
Сумма		3,2	10,6	44,6	55,0	51,5	28,3	20,8	16,1	22,5	10,1	15,2	13,1	22,1

Примечание. Источники информации: 1 – Hardy, 2001.; 2 – Сергеева, 1989; 3 - Radunz-Netto, 1994; 4 – Скурихин, 1987.

Таблица 11. Содержание некрахмалистых полисахаридов (НПС) в различных компонентах комбикормов, % (по Имангулову, 1999)

Вид сырья	Целлюлоза	Другие β-глюканы	Пентозаны	Сумма НПС
Пшеница	2,0–3,4	0,2–1,5	5,5–9,5	7,5–10,6
Пшеничные отруби	10,6–13,6	–	15,0–25,0	22,0–33,7
Рожь	2,2–3,2	0,5–0,3	7,5–9,1	10,7–12,8
Ячмень	4,2–9,3	1,5–10,7	5,7–7,0	13,5–17,2
Овес	8,0–12,3	3,0–6,6	5,5–6,9	12,0–29,6
Кукуруза	1,9–3,0	0,1–0,2	4,0–4,3	5,5–11,7
Соевый шрот	3,4–9,9	–	3,0–4,5	18,0–22,7
Рапсовый шрот	10,9–15,9	–	–	18,7

Таблица 12. Усредненные данные о количестве потребляемой сеголетками карпа естественной пищи и комбикорма за сутки (суточные рационы) в зависимости от температуры воды и массы рыб при выращивании в прудах, % сухого вещества пищи от массы рыб (по Киселеву, 1985)

Температура воды, °С	Средняя масса сеголеток карпа, г													
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	30	35
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
12	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6
14	3,0	2,8	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1
16	3,8	3,6	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7
18	4,8	4,5	4,3	4,1	4,0	3,9	3,9	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,5	3,4
20	5,9	5,5	5,2	5,1	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4	4,3	4,2
22	7,1	6,6	6,3	6,1	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,3	5,1	5,0
24	8,3	7,8	7,4	7,2	7,0	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6,0
26	9,7	9,1	8,7	8,4	8,1	7,9	7,8	7,7	7,6	7,4	7,3	7,3	7,1	6,9
28	11,2	10,4	10,0	9,6	9,4	9,2	9,0	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,2	8,0
30	12,8	11,9	11,4	11,0	10,7	10,5	10,2	10,1	9,9	9,8	9,7	9,6	9,3	9,1

Примечания: 1. Рационы получены при достаточной обеспеченности рыб пищей и нормальном кислородном режиме.

2. При переходе от суточных рационов для сеголеток карпа к нормам комбикорма используют следующие переводные коэффициенты, на которые умножают исходную величину: 1) коэффициент, учитывающий сезонные изменения доли естественной пищи в питании рыб: 0,4 – для начального, 0,8 – основного; 0,5 – осеннего периодов кормления; 2) коэффициент для поправок на потери, обусловленные качеством изготовления комбикорма: 1,18 – для 100% гранул (водостойкостью 15 мин), 1,42 – для россыпи, 1,30 – для смеси россыпи и гранул (1:1); 3) коэффициент, учитывающий потери в процессе питания рыб, для температур ниже 18 °С – 1,11; для 18 °С и выше – 1,18; 4) поправка на влажность комбикорма (перевод абсолютно сухого вещества рациона в натуральную массу комбикорма) – 1,11 при влажности 10%, 1,14 – при влажности – 12%. Общий коэффициент перевода величин суточных рационов сеголетков карпа в нормы кормления при использовании 100% гранул составляет при температуре менее 18 °С для начального периода 0,6; основного – 1,19; осеннего – 0,75, а при температуре белее 18 °С – соответственно 0,63; 1,27; 0,8.

3. При повышении водостойкости гранул до 30 мин и более расчетные нормы кормления следует снизить на 10% (умножить на коэффициент 0,9). При снижении содержания кислорода в воде в утренние часы до 1,5–2,0 мг/л норму следует уменьшить на 40% (умножить на коэффициент 0,6), при снижении до 1 мг/л норму сократить на 65% (умножить на коэффициент 0,35). При слабом развитии естественной кормовой базы в первый период (менее 10 мг/л зоопланктона) нормы рассчитываются по второму периоду. Для непроточных и неаэрируемых водоемов суточная нагрузка комбикорма на единицу площади должна ограничиваться 100 кг/га; в прудах со средней глубиной 1,3 м и более – 120–140 кг/га.

Таблица 13. Усредненные данные о количестве потребляемой двухлетками карпа естественной пищи и комбикорма за сутки (суточные рационы) в зависимости от температуры воды и массы рыб при выращивании в прудах , % сухого вещества пищи от массы рыб (Рекубратский, 1988; цит. по Щербине и др., 1987)

Средняя температура воды, °С	Средняя масса двухлеток карпа, г						
	25	36	60	100	170	290	500
10	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8
12	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
14	2,2	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5
16	2,9	2,7	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9
18	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	2,5	2,4
20	4,4	4,2	3,9	3,6	3,3	3,1	2,9
22	5,3	5,0	4,6	4,3	4,0	3,7	3,5
24	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,4	4,1
26	7,3	6,9	6,4	6,0	5,5	5,2	4,8
28	8,4	8,0	7,4	6,9	6,4	5,9	5,5

Примечания: 1. Значения рационов получены при достаточной обеспеченности рыб пищей и нормальном кислородном режиме.

2. При переходе от значений суточных рационов для двухлетков карпа к нормам комбикорма используют следующие переводные коэффициенты, на которые умножают исходную величину: 1) коэффициент, учитывающий изменения доли естественной пищи в питании рыб: 0,6 – для начального; 0,9 – основного и 0,5 – осеннего; 2) коэффициент для поправок на потери, обусловленные качеством изготовления комбикорма: 1,18 – для 100% гранул водостойкостью 15 мин; 1,42 – для россыпи; 1,30 – для смеси россыпи и гранул (1:1); 3) коэффициент, учитывающий потери в процессе питания рыб – 1,18; 4) поправка на влажность комбикорма (перевод абсолютно сухого вещества рациона в натуральную массу комбикорма) – 1,11 при влажности 10%; 1,14 при влажности – 12%. Общий коэффициент перевода суточных рационов для двухлеток карпа в нормы кормления 100%-ными гранулами составляет для начального периода – 0,95, основного – 1,43, осеннего – 0,79.

3. При повышении водостойкости гранул до 30 мин и более расчетные нормы кормления следует снизить на 10% (умножить на коэффициент 0,9). При снижении в утренние часы концентрации кислорода в воде до 1,5–2,0 мг/л норму следует уменьшить на 40% (умножить на коэффициент 0,6), при снижении до 1 мг/л норму сократить на 65% (умножить на коэффициент 0,35). Для непроточных и неаэрируемых водоемов суточная нагрузка комбикорма на единицу площади должна ограничиваться 100кг/га; в прудах со средней глубиной 1,3 м и более – 120–140 кг/га.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 5
Глава 1. Значение основных питательных веществ и энергии в жизнедеятельности рыб и потребность в них у различных видов 8
1.1. Белки и аминокислоты 9
1.2. Жиры и жирные кислоты 16
1.3. Углеводы 24
1.4. Минеральные элементы 27
1.5. Витамины 41
1.6. Энергия 56
Глава 2. Переваривание пищи в организме рыб 62
2.1. Строение и работа пищеварительной системы 62
2.1.1. Карп 64
2.1.2. Форель 68
2.2. Судьба питательных веществ после всасывания 70
2.3. Эндогенная экскреция 70
2.4. Количественная характеристика переваримости питательных веществ 74
2.4.1. Переваримость белков и доступность аминокислот 75
2.4.2. Переваримость жиров 77
2.4.3. Переваримость углеводов 78
2.4.4. Доступность минеральных веществ 83
2.4.5. Общая переваримость кормов и потенциальная энергия переваренных веществ 91
2.4.6. Влияние различных факторов на переваримость пищи у рыб 91
2.4.7. Способы повышения переваримости кормов 93
Заключительные замечания 95
Глава 3. Питательные свойства основных видов кормового сырья для рыб 99
3.1. Компоненты растительного происхождения 100
3.1.1. Зерно злаковых и бобовых культур 100
Пшеница и продукты ее переработки (зерно, отруби, зародышевые хлопья, витазар, витал) 101
Ячмень 112
Рожь 115
Овес 116
Кукуруза 117
Рис 120
Сорго 121
Просо 123
3.1.2. Зерно бобовых культур 123
Горох 123
Люпин 127
3.1.3. Отходы переработки масличных культур 128
Подсолнечные жмыхи и шроты 130
Подсолнечная лузга 136
Соевые жмыхи и шроты 137
Рапсовые жмыхи и шроты 140
Горчичные жмыхи и шроты 142
Льняные жмыхи и шроты 144
Хлопчатниковые жмыхи и шроты 145
Клещевинные жмыхи и шроты 146
Арахисовые жмыхи и шроты 147
Конопляный жмых 148
3.2. Продукты микробиологического синтеза 148
3.2.1. Гидролизные дрожжи (гиприн) 153
3.2.2. Углеводородные дрожжи (паприн, БВК) 156
3.2.3. Этанольные дрожжи (эприн) 158
3.2.4. Микробная биомасса (гаприн) 160
3.2.5. Кливеролакт 161

3.2.6. Белотин . . . 162
3.2.7. Биотрин . . . 163
3.2.8. Метанольные дрожжи (меприн) . . . 164
3.2.9. Пекарские и пивные дрожжи . . . 164
3.2.10. Мицелий высших грибов . . . 164
3.3. Сырье животного происхождения . . . 165
3.3.1. Рыбная мука . . . 165
3.3.2. Мясокостная мука . . . 187
3.3.3. Кровяная мука . . . 191
3.3.4. Перьевая мука . . . 193
3.3.5. Крилевая мука . . . 195
3.3.6. Кальмаровая мука . . . 197
3.3.7. Сухое молоко, обрат и сыворотка . . . 198
3.3.8. Яичный порошок . . . 198
3.3.9. Прадикон . . . 199
3.4. Питательные свойства естественной пищи . . . 199
3.4.1. Планктонные организмы . . . 200
3.4.2. Пищевая ценность для карпов личинок хирономид и дафний . . . 205
Заключительные замечания . . . 211

Глава 4. Составление рецептур комбикормов . . . 216
4.1. Общие положения . . . 216
4.2. Подбор компонентов и балансирование состава комбикормов . . . 218
4.2.1. Белок и незаменимые аминокислоты . . . 218
4.2.2. Жир и незаменимые жирные кислоты . . . 222
4.2.3. Углеводы . . . 223
4.2.4. Минеральные вещества . . . 224
4.2.5. Витамины . . . 226
4.2.6. Энергия . . . 227
4.3. Способы расчета состава рецептов комбикормов . . . 229

Глава 5. Технологические способы изготовления комбикормов . . . 232
5.1. Способы подготовки сырья . . . 234
5.1.1. Термическая обработка конвективным методом . . . 234
5.1.2. Термическая обработка кондуктивным методом . . . 234
5.1.3 Тостирование . . . 234
5.1.4. Флакирование . . . 235
5.1.5. Микронизация . . . 235
5.2. Технологический процесс и основное оборудование при производстве комбикормов . . . 235
5.2.1. Способы очистки сырья . . . 236
5.2.2. Дозирование и смешивание компонентов . . . 236
5.2.3. Измельчение . . . 237
5.3. Способы изготовления комбикормов . . . 238
5.3.1. Технология сухого прессования (гранулирование) . . . 239
5.3.2. Технология экструдирования . . . 244
5.3.3. Технология экспандирования . . . 252

Глава 6. Оценка питательности кормового сырья и комбикормов . . . 258
6.1. Органолептическая оценка . . . 258
6.2. Расчетная система оценки . . . 259
6.2.1. Белковая питательность . . . 259
6.2.2. Питательность липидной части . . . 259
6.2.3. Питательность углеводов . . . 259
6.2.4. Степень полноценности минерального состава . . . 260
6.2.5. Питательность витаминов . . . 260
6.2.6. Энергетическая питательность . . . 261
6.3. Оценка питательности кормового сырья и комбикормов на рыбах . . . 262
6.3.1. Характеристика роста и выживаемости рыб . . . 263
6.3.2. Оценка продуктивного действия корма . . . 263
6.3.3. Оценка переваримости корма . . . 265
6.3.4. Эффективность использования веществ и энергии корма рыбами . . . 266
6.3.5. Оценка влияния корма на обмен веществ у рыб и их физиологическое состояние . . . 267

Глава 7. Особенности кормления основных видов разводимых рыб 269
7.1. Кормление карпа в условиях прудовых хозяйств 269
7.1.1. Краткие сведения о естественной кормовой базе прудов 269
7.1.2. Характеристика интенсивности питания карпов в прудах 271
7.1.3. Зависимость интенсивности питания рыб от технологии кормления .. 277
7.1.4. Организация кормления карпов комбикормами 278
7.1.5. Особенности кормления карпов различных возрастных групп 284
7.1.6. Источники потерь комбикормов при кормлении карпов в прудах 297
7.2. Кормление рыб в условиях индустриальных хозяйств 298
7.2.1. Кормление карпов в бассейнах и садках 298
7.2.2. Кормление лососевых рыб 300
7.2.3. Кормление осетровых рыб 305
7.2.4. Кормление канального сома 308
7.3. Нормативно-техническая документация на комбикорма для рыб 311
Заключение 314
Литература 319
ПРИЛОЖЕНИЕ 341

CONTENT

Introduction 5
Chapter 1. Significance of main nutrients and energy for fish living activity and their requirements in different fish species 8
1.1. Proteins and amino acids 9
1.2. Lipids and fatty acids 16
1.3. Carbohydrates 24
1.4. Minerals 27
1.5. Vitamins 41
1.6. Energy 56
Chapter 2. Food digestion in fish's organism 62
2.1. Structure and function of digestive system 62
2.1.1. Carp 64
2.1.2. Trout 68
2.2. Transformations of nutrients after absorption 70
2.3. Endogenic excretion 70
2.4. Quantitative characteristics of nutrients' digestion 74
2.4.1. Proteins' digestibility and availability of amino acids 75
2.4.2. Digestibility of fats 77
2.4.3. Digestibility of carbohydrates 78
2.4.4. Availability of minerals 83
2.4.5. Total digestibility of foods and potential energy of digested substances 91
2.4.6. Effect of different factors on feed digestibility in fish 91
2.4.7. Methods of feed digestibility increasing 93
Conclusions 95
Chapter 3. Nutritive properties of main kinds of feed row material for fish 99
3.1. Components of vegetable origin 100
3.1.1. Bread and bean grains 100
Wheat and products of its processing (grains, bran, germs, vitazar, vital) 101
Barley 112
Rye 115
Oats 116
Maize 117
Rice 120
Sorghum 121
Millet 123

3.1.2. Bean grains ... 123
Peas ... 123
Lupin ... 127
3.1.3. Waste products after processing oil-bearing corps ... 128
Sunflower oilcake and shreds ... 130
Sunflower husks ... 136
Soya oilcake and shreds ... 137
Rape oilcake and shreds ... 140
Mustard oilcake and shreds ... 142
Linseed oilcake and shreds ... 144
Cotton-cake and cotton-shreds ... 145
Palmcrist oilcake and shreds ... 146
Peanut oilcake and shreds ... 147
Hemp oilcake ... 148
3.2. Products of microbiologic synthesis ... 148
3.2.1. Yeast of hydrolysis (hyprin) ... 153
3.2.2. Carbohydrate yeast (paprin, BVK) ... 156
3.2.3. Ethanol yeast (eprin) ... 158
3.2.4. Microbial biomass (gaprin) ... 160
3.2.5. Cliverolact ... 161
3.2.6. Belotin ... 162
3.2.7. Biotrin ... 163
3.2.8. Methanol yeast (meprin) ... 164
3.2.9. Food and brewer's yeast ... 164
3.2.10. Mycelium of higher mushrooms ... 164
3.3. Raw material of animal origin ... 165
3.3.1. Fish meal ... 165
3.3.2. Meat and bone meal ... 187
3.3.3. Blood meal ... 191
3.3.4. Feather meal ... 193
3.3.5. Planktonic crawfish (Euphausiacea) meal ... 195
3.3.6. Squid meal ... 197
3.3.7. Dried milk, skim milk and whey ... 198
3.3.8. Egg powder ... 198
3.3.9. Pradikon ... 199
3.4. Nutritive properties of natural food ... 199
3.4.1. Planktonic organisms ... 200
3.4.2. Nutritive value for carp Chironomid larvae and Daphnia ... 205
Conclusions ... 211

Chapter 4. Formulation of mixed feed diets ... 216
4.1. Principal points ... 216
4.2. Components' selection and balancing mixed feeds composition ... 218
4.2.1. Proteins and essential amino acids ... 218
4.2.2. Fats and essential fatty acids ... 222
4.2.3. Carbohydrates ... 223
4.2.4. Minerals ... 224
4.2.5. Vitamins ... 226
4.2.6. Energy ... 227
4.3. Methods of formula composition calculation ... 229

Chapter 5. Technological methods of mixed feed production ... 232
5.1. Methods of raw material preparation ... 234
5.1.1. Thermal treatment by the convection method ... 234
5.1.2. Thermal treatment by the conductive method ... 234
5.1.3 Toasting ... 234
5.1.4. Flaking ... 235
5.1.5. Micronisation ... 235
5.2. Technological process and main equipment for mixed feed production ... 235
5.2.1. Methods of raw material refinement ... 236
5.2.2. Components' dosage and mixing ... 236
5.2.3. Crumbling ... 237
5.3. Methods of mixed feed production ... 238

5.3.1. Technology of dried pressing (pelleting) . . . 239
5.3.2. Technology of extrusion . . . 244
5.3.3. Technology of expanding . . . 252
Chapter 6. Estimation of raw feed and mixed feed nutritiousness . . . 258
6.1. Organoleptic estimation . . . 258
6.2. Calculative estimation system . . . 259
6.2.1. Protein nutritiousness . . . 259
6.2.2. Nutritiousness of lipid part . . . 259
6.2.3. Nutritiousness of carbohydrates . . . 259
6.2.4. Level of minerals valuability . . . 260
6.2.5. Vitamin nutritiousness . . . 260
6.2.6. Energy nutritiousness . . . 261
6.3. Testing of feed nutritiousness on fish . . . 262
6.3.1. Fish growth and surviving characteristics . . . 263
6.3.2. Estimation of productive food effect . . . 263
6.3.3. Estimation of food digestibility . . . 265
6.3.4. Estimation of food substances and energy utilization by fish . . . 266
6.3.5. Estimation of food effect on fish metabolism and their physiological condition . . . 267
Chapter 7. Feeding peculiarities of main fish species cultivated . . . 269
7.1. Feeding of carp in ponds . . . 269
7.1.1. Short information about natural food supply of ponds . . . 269
7.1.2. Characteristics of carp nutrition intensity in ponds . . . 271
7.1.3. Dependence of fish nutrition intensity on feeding technology . . . 277
7.1.4. Management of carp feeding on mixed feeds . . . 278
7.1.5. Feeding peculiarities of different aged groups of carp . . . 284
7.1.6. Causes of mixed feed losses in ponds . . . 297
7.2. Fish feeding under conditions of industry farms . . . 298
7.2.1. Carp feeding in basins and cages . . . 298
7.2.2. Salmon fish feeding . . . 300
7.2.3. Sturgeon fish feeding . . . 305
7.2.4. Channel catfish feeding . . . 308
7.3. Normative technical documentation for fish mixed feeds . . . 311
Conclusions . . . 314
References . . . 319
ADDENDUM . . . 341

Щербина Марина Алексеевна
Гамыгин Евгений Алексеевич

Кормление рыб в пресноводной аквакультуре

Заведующая редакцией *Г.П. Короткова*
Редактор *Е.П. Яковлева*
Художественный редактор *В.В. Веселова*
Технический редактор *И.И. Алиева*
Компьютерная верстка *И.И. Алиевой, Л.И. Филатовой*

Подписано в печать 05.09.2006.
Печ. л. 45,0. Формат 60×84 1/8.
Тираж 300. Заказ № 693.

Издательство ВНИРО
107140, Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17
Тел.: (495) 264-65-33
Факс (495) 264-91-87