

УДК 639.3.043.2

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2025.4.123-131

СОВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ ПОТРЕБНОСТИ В ЛИМИТИРУЮЩИХ АМИНОКИСЛОТАХ И КОРМОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРОТЕИНА У КАРПОВЫХ РЫБ

¹Зеленченкова А.А., ²Мамонова А.С.

*Федеральный исследовательский центр животноводства – ¹ВИЖ им. Л.К. Эрнста,
Подольск-Дубровицы; ²ВНИИ интегрированного рыбководства, Московская область,
Российская Федерация*

Актуальными направлениями в развитии технологий рыбководства является изучение физиологических потребностей рыб, видовых особенностей белкового метаболизма и поиск экономически обоснованных альтернатив традиционной рыбной муке. Цель исследования – систематизация новейших данных о видовых и возрастных особенностях потребности в незаменимых аминокислотах (метионин, лизин, треонин, триптофан), о физиологических ограничениях в усвоении кормового белка и его роли для повышения продуктивности и поддержания здоровья у карповых рыб. Особое внимание уделено альтернативным источникам протеина таким как соевый, хлопковый, рапсовый шроты, кукурузная глютенная мука – с анализом их достоинств и недостатков (дефицит аминокислот, антипитательные факторы). В качестве замены рыбной муке (РМ) рассмотрены побочные продукты животного происхождения, такие как мука из субпродуктов птицы, которой можно заменить до 50% РМ в составе кормов. Описано применение фитобиотиков в кормах для аквакультуры – микроводорослей, дрожжей и бактериальных белков с оценкой питательной ценности и перспектив применения, а также белков из насекомых (чёрная львинка, мучной хрущак) с указанием оптимальных уровней включения в рацион. Сделано заключение о необходимости дальнейших исследований для разработки сбалансированных кормов, сочетающих доступность, питательную ценность и экологическую безопасность.

Ключевые слова: аквакультура, карповые рыбы, белковое питание, рыбная мука, кормовой протеин, незаменимые аминокислоты.

Проблемы биологии продуктивных животных. 2025. 4: 123-131.

Введение

Белок является жизненно важным ингредиентом рациона, так как содержит аминокислоты, необходимые для синтеза собственных белков организма. Для рыб белки в плане получения энергии важнее углеводов, поскольку потребность в энергии у них ниже, чем у млекопитающих. Содержание протеина в рационе рыб должно быть сбалансировано по отношению к общей калорийности корма. Кроме того, он должен быть биодоступным и содержать все незаменимые (эссенциальные) аминокислоты (ЕАА) (Corcoran, 2014). По данным Национального исследовательского совета (NRC) (2011), всем рыбам требуются одни и те же 10 ЕАА – аргинин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, треонин, триптофан и валин; не менее важным фактором является их правильное соотношение в составе белка, так как дисбаланс аминокислот может привести у рыб к проблемам со здоровьем (Jobling, 2012).

Пресноводные рыбы относятся к аммонителическим животным, у которых конечным продуктом азотистого обмена является аммиак. Отличительной особенностью рыб от наземных позвоночных является механизм выведения конечных продуктов азотистого обмена в виде

легкорастворимых в воде азотистых продуктов – аммиака и мочевины, которые выводятся преимущественно (более 90%) через жабры. Такая биохимическая особенность выведения конечных продуктов азотистого обмена сделала возможным функционирование у рыб метаболизма с преобладанием процессов, связанных с поддержанием синтеза белков (Ip, 2010), которые зависят от многих факторов – видовой принадлежности и возрастных особенностей, качества и концентрации белковых кормов, а также абиотических условий содержания, в том числе температуры, рН, количества растворённого в воде кислорода. Поэтому при составлении кормовых рационов необходимо учитывать не только потребности в питательных веществах конкретного объекта выращивания и его физиологические особенности к усвоению компонентов, но и абиотические факторы среды обитания (Щербина., 2006).

Известно, что потребности в протеине любого организма, в том числе и карпа, неодинаковы на протяжении жизни. Так, стартовые корма для личинки и молоди карповых рыб должны содержать большое количество белка (50-55%), а по мере роста потребность в белке снижается и составляет 35-40%. Установлено, что эффективность использования энергии на рост карпа в начале сезона составляет 25-30, а в конце – 8,5-11% (Додаев и др., 2020). Содержание белка в комбикормах для двухлетков и трёхлетков может быть снижено до 19-18% (при условии их сбалансированности по аминокислотам) и даже до 17% при наличии развитой естественной кормовой базы (Радчиков, 2022).

В связи с вышеизложенным, состав корма при выращивании карповых необходимо оптимизировать с целью снижения содержания белка, улучшения эффективности использования искусственного корма и снижения нагрузки на среду обитания.

Цель данной работы – систематизация современных данных о потребностях карповых в белке и аминокислотах, о доступных источниках протеина, а также обоснование подходов к решению задач оптимизации кормовых рационов.

Потребности карповых в белке и аминокислотах.

Важной особенностью семейства карповых является отсутствие у большинства видов настоящего желудка, что привело к утрате способности продуцировать соляную кислоту и пепсиноген (Hofer, 1991), а эффективность всасывания зависит от множества факторов, включая температуру воды, солёность и состав рациона (Debnath, Saikia, 2021). Поступающие белки расщепляются протеолитическими ферментами – трипсином и химотрипсином, а основная часть переваренных белков обнаруживается в виде свободных аминокислот и дипептидов. У карповых, питающихся растительной пищей, наблюдается повышенная суточная выработка протеолитических ферментов, хотя их удельная активность ниже; у всеядных же видов активность амилазы выше, чем у плотоядных рыб (Hofer, 1991).

В технологиях аквакультуры существует концепция «идеального» белка, максимально соответствующего аминокислотному профилю потребностей рыб, согласно которой аминокислота, находящаяся в дефиците относительно физиологической потребности, становится «лимитирующей», что ведет к нарушению роста, обмена веществ, иммунитета и развития (Sogsoan, 2014; Колмаков, Колмакова, 2020). По этой причине эффективность корма определяет лимитирующая аминокислота, а не уровень протеина. Это означает, что корм с меньшим содержанием протеина, но правильно сбалансированный по аминокислотам, более эффективен, чем корм с высоким уровнем протеина, но не сбалансированный по аминокислотам. Однако, некоторые исследователи отмечают также важность сбалансированного содержания заменимых аминокислот, поскольку это может снизить затраты эссенциальных аминокислот на синтез заменимых в клетках (Колмаков, Колмакова, 2020). В процентном соотношении от общего количества белка в рационе незаменимые аминокислоты должны составлять 50-60%. Это

количество помогает предотвратить дефицит аминокислот при потреблении достаточного количества энергии (Corcoan, 2014).

Одной из наиболее важных среди незаменимых аминокислот является аргинин, потребность в котором выше, чем у млекопитающих, так как у них отсутствует способность его образования в орнитинном цикле. Также считается, что у карповых главная лимитирующая кислота – это метионин. Показано, что его дефицит в рационе белого амура может привести к снижению пищеварительной и абсорбционной способности, а также антиоксидантной активности тканей кишечника (Wu et al., 2017).

Кроме того, при высокой доле растительного белка в корме важную роль играют и другие лимитирующие аминокислоты, в том числе лизин, треонин и триптофан (Японцев и др., 2014; Signor, 2017; Ayub, 2021). В табл. 1 представлены некоторые результаты исследований по оценке оптимальных количеств лимитирующих аминокислот в рационе у карповых рыб.

Известно, что потребность в питательных веществах может изменяться в зависимости от стадии роста рыбы. Многие питательные вещества, в том числе незаменимые аминокислоты, всасываются посредством активного транспорта, для которого требуется энергия. Общая потребность в серосодержащих аминокислотах у взрослых особей обыкновенного карпа ниже, чем у молоди. Интенсивность метаболизма белка и аминокислот снижается с увеличением живой массы рыбы, и это может быть причиной различий в общей потребности в серосодержащих аминокислотах на разных стадиях роста (Склярков, 2008).

Таблица 1. **Оптимальное количество лимитирующих аминокислот в корме для карповых рыб.**

Аминокислота	Вид	Живая масса, г	Уровень СП	Оптимальное кол-во АА	Ссылка
Метионин	Белый амур (<i>Stenopharyngodon idella</i>)	178–626	33,26 г/кг	9,56 г/кг	(Fang et al. 2021)
	Серебряный карась (<i>Carassius auratus gibelio</i>)	11,37±0,02	32%	0,75%	[Du. et al. 2024]
	<i>Cirrhinus mrigala</i>	0,19±0,02	40%	16-16,9 г/кг	(Khan, Abidi, 2013)
Лизин	Обыкновенный карп (<i>Cyprinus carpio</i>)	0,62±0,05	40%	1,89%	(Signor, 2017)
	Белый амур (<i>Stenopharyngodon idella</i>)	164-581	28,74%	13,5-14,5 г/кг	(Hu et al., 2021)
Треонин	Белый амур (<i>Stenopharyngodon idella</i>)	9,53±0,02	324 г/кг	14,1 г/кг	(Dong et al., 2022)
	<i>Cirrhinus mrigala</i>	0,62±0,02	40%	3,8 г/кг	(Ahmed, Khan, 2005)
Триптофан	<i>Catla catla</i>	0,60±0,13	330 г/кг	2,1-2,5 г/кг	(Zehra, Khan, 2015)
	Обыкновенный карп (<i>Cyprinus carpio var. Jian</i>)	7,73±0,03	320 г/кг	3,5 г/кг	(Tang et al., 2013)

Примечания: *СП – сырой протеин, АА – аминокислота

Источники протеина для карповых рыб.

Различные белки в кормах имеют разный состав физиологически и питательно необходимых аминокислот (АК) (Jia et al., 2021). В настоящее время приоритетное внимание уделяется ограниченному использованию рыбной муки в качестве источника белка и улучшению состава кормов, удовлетворяющих потребности в питательных веществах на основе более доступных, экономичных и экологических ингредиентов (Debnath, Saikia, 2021). Рыбная мука (РМ)

считается идеальным источником протеина в аквакультуре, поскольку она богата белком, содержит необходимое количество незаменимых аминокислот, очень питательна и приятна на вкус. В высококачественной рыбной муке обычно содержится 60-72% сырого протеина и всего от 6 до 20% липидов по массе, поскольку большая часть масла извлекается в процессе производства муки (Serra et al., 2024; Hussain et al., 2024). При этом наблюдается не только сокращение уловов рыбы (Macusi, 2022), но и снижение производства РМ – с начала XXI века оно уменьшилось на треть и стабилизировалось на уровне 4,8-5,8 млн. т. (Агеев, 2022). По этой причине в последнее время наиболее актуальной задачей для науки и производства является замена рыбной муки в составе кормов на другие высокобелковые компоненты.

Альтернативными источниками белка в кормлении карповых выступают, в основном, растительные компоненты с высокой долей СП, относительно высокой усвояемостью и низкой стоимостью (Liang et al., 2019; Hussain et al., 2024). Соевый шрот (СШ) широко применяется для замены РМ за счёт большого количества белка (32-45% от сухого вещества), сравнительно сбалансированного аминокислотного состава и низкой стоимости (Hussain et al., 2024). Однако, в СШ содержится недостаточно незаменимых аминокислот, а его вкусовая привлекательность из-за наличия ряда антипитательных факторов (фитаты, танины, ингибиторы трипсина) невелика. Сообщается, что включение СШ в больших количествах в аквакорм негативно влияет на процессы пищеварения и роста, а также вызывает повреждение тканей кишечника в частности, у карповых рыб (Lin, Cheng, 2017).

Хлопковый шрот (ХШ) является ещё одним из распространённых источников растительного белка в кормлении рыб благодаря достаточному содержанию белка, высокой урожайности и низкой цене. В семенах хлопка содержится около 51,2% СП (Xu et al., 2022), а концентрат белка хлопкового семени, полученный при обработке ХШ, может заменить 45% РМ без ущерба для здоровья и показателей роста большеротого окуня (Xu et al., 2022). Основным недостатком данного сырья является дефицит лизина (Dharmakar et al., 2022).

Кукурузная глютенная мука (КГМ), побочный продукт кукурузного крахмала, представляет собой основную фракцию белка, полученную в процессе мокрого помола для разделения крахмала, зародыша, белка и волокон кукурузы. Этот побочный продукт характеризуется содержанием белка 67-71%, низким содержанием клетчатки и отсутствием антипитательных факторов, но он беден незаменимыми аминокислотами, такими как лизин и триптофан (Serra et al., 2024).

В целом, растительное сырьё имеет ряд серьёзных недостатков по сравнению с РМ, а именно – высокая доля целлюлозы, несбалансированный профиль аминокислот, отсутствие или низкое содержание некоторых незаменимых и лимитирующих аминокислот (лизин, триптофан и метионин), наличие антипитательных веществ (фитиновая кислота, ингибиторы трипсина, лектины и пр.) и, как следствие, низкая вкусовая привлекательность (Liang et al., 2019; Hussain et al., 2024).

Мука из побочных продуктов животного происхождения, например, птицеводства, считается ценной альтернативой рыбной муке из-за высокой питательной ценности и низкой цены. Более того, такое кормовое сырьё обладает рядом преимуществ по сравнению с белками растительного происхождения, таких как отсутствие антипитательных факторов и более сбалансированный аминокислотный профиль (Serra et al., 2024). Показано, что мука из субпродуктов птицы (МПП) может заменить до 50% РМ без отрицательного влияния на темпы роста, состав тела, морфологию печени и кишечника (Marzouk et al., 2024). Учитывая значительно более низкую стоимость МПП по сравнению с рыбной мукой, такая замена представляет собой экономически эффективную альтернативу (Marzouk, 2024).

Применение ингредиентов одноклеточных (SCI) в кормах для аквакультуры не является новым подходом, однако в последние годы особое внимание уделяется их потенциальным

преимуществам. К данной группе относят продукты, полученные из бактерий, грибов (дрожжей), микроводорослей, а в ряде случаев – из их комбинаций.

Наибольший исследовательский интерес в рамках трёх основных групп вызывает использование микроводорослей (Glencross et al., 2020). Микроводоросли – это большая разнообразная группа микроорганизмов, включающая фотоавтотрофных протистов и прокариотические цианобактерии (Fernandes, Cordeiro, 2021). Они рассматриваются как ценный источник белка в аквакультуре благодаря двум факторам – высокой концентрации протеина и его сбалансированному аминокислотному профилю. Способность микроводорослей к синтезу всех аминокислот обеспечивает наличие в их составе всех незаменимых аминокислот в достаточном количестве. Примечательно, что качество белка, определяемое его аминокислотным составом, является схожим у разных классов микроводорослей, однако их питательная ценность варьирует из-за различий в усвояемости, показатели которой находятся в широком диапазоне – от 59 до 95% (Gao et al., 2024). Более 40 видов микроводорослей нашли применение в аквакультуре, однако ведущую роль в научных исследованиях занимают представители родов *Arthrospira* и *Chlorella* (Harmantepe, Yilmaz, 2025). Частичная замена рыбной муки микроводорослями значительно увеличивает потребление корма и рост рыбы за счёт биоактивных соединений в их составе (Gao et al., 2024).

В исследовании (Harmantepe et al., 2025) карпам *Cyprinus carpio* со средней ЖМ 2 г вместо рыбной муки добавляли в рацион 25% высушенной хлореллы или спирулины (Harmantepe, Yilmaz, 2025). Полученные результаты показали, что данные микроводоросли увеличивают рост, усвояемость питательных веществ и активность пищеварительных ферментов (протеазы и липазы). В другом исследовании (Chen et al., 2021) при добавлении 5-10% муки *S. sorokiniana* в рационы для радужной форели *Oncorhynchus mykiss* с фиксированным содержанием белка (47%), 5%-ная добавка улучшила потребление корма и рост; при этом все опытные группы показали повышение активности супероксиддисмутазы (печень) и каталазы (печень, головные почки). Показано, что микроводоросли в целом могут заменить до 100% (при абсолютном содержании 30,8%) рыбной муки в рационе карпа (Gao et al., 2024).

Дрожжи и другие одноклеточные грибы содержат большое количество белка и традиционно включаются в рацион наземных животных, а также экспериментально тестируются в рационе водных животных (Gamboa-Delgado, Márquez-Reyes, 2018; Chen et al., 2021). Содержание СП варьирует в пределах 40-55% от сухого вещества, включая содержание нуклеиновых кислот (Øverland, Skrede, 2017). В аквакормах, в основном, применяются такие виды, как *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Phaffia rhodozyma* и *Wickerhamomyces anomalus*, которые служат источниками белка, липидов, пигментов и ферментов (Glencross et al., 2020). Замена 15–20% рыбной муки дрожжевым концентратом (с содержанием белка 340 г/кг) существенно улучшала у карпа показатели роста и конверсии корма, а при замене до 50% белка рост оставался на уровне контрольной группы. Кроме того, добавление цельных дрожжевых клеток и β -глюкана способствовало усилению неспецифического иммунного ответа и повышению устойчивости к заболеваниям (Øverland, Skrede, 2017).

Бактериальные одноклеточные белки, как правило, содержат от 50 до 80% белка в пересчёте на сухое вещество. Среди различных микроорганизмов виды *Methylobacterium* недавно привлекли к себе внимание. Бактериальный белок, полученный из *M. capsulatus* путём ферментации в природном газе, представляет собой ценный источник белка, характеризующийся хорошим аминокислотным составом и усвояемостью, что способствует росту и здоровью животных, а потенциальные улучшения могут быть достигнуты благодаря усовершенствованным технологиям обработки и исследованиям эффективности использования питательных веществ (Chamodi et al. 2025). Согласно исследованию (Ruiz et al., 2023), белковый продукт из *M. capsulatus* может успешно заменить до 50% рыбной муки в рационе молоди

радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) (Ruiz et al., 2023). Авторы не выявили негативного влияния на здоровье желудочно-кишечного тракта, печени, антиоксидантный статус и состав кишечной микробиоты рыб при рационе с общим содержанием СП 42%. В работе (Samsing et al., 2024) отмечено существенное замедление роста и снижение выживаемости мальков латес (*Lates calcarifer*) при замене рыбной муки на бактериальный белок *M. capsulatus* в количестве 25-50% (Samsing et al., 2024).

Кроме нетрадиционных одноклеточных ингредиентов, активно проводятся исследования по включению в рационы белка из насекомых, таких как черная львинка (*Hermetia illucens*), большой мучной хрущак (*Tenebrio molitor*) и комнатная муха (*Musca domestica*). Насекомые содержат 42-63,3% СП от сухого вещества, при этом содержание СП в обезжиренной муке из насекомых, по имеющимся данным, составляет до 74% (Fantatto et al., 2024). Показано, что частичная замена рыбной муки (до 50%) на муку из личинок чёрной львинки для молоди карпа не вызывает негативных физиологических последствий (Li et al., 2017) однако превышение уровня данного ингредиента свыше 75% приводит у рыб к возникновению диетического стресса и патологических изменений в кишечнике.

Заключение

Таким образом, при создании кормов необходимо учитывать не только видоспецифичные потребности рыб, стадию их развития, но и доступность аминокислот. Поэтому целесообразно смешивать различные источники белка растительного и животного происхождения, чтобы использовать питательные свойства каждого ингредиента с контролем синергетических и антагонистических эффектов. Оптимизация рационов позволит компенсировать дефицит аминокислот, повысить усвояемость корма, а также без ущерба для их роста и здоровья рыб снизить себестоимость производства объектов товарной аквакультуры.

Работа проведена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. регистрационный номер темы Государственного задания № FGGN-2025-0006.

Список литературы

1. Агеев А.В. Рыбная мука и аквакультура. // Комбикорма. 2022. № 12. С. 20-24.
2. Додаев К.А., Ниёзов Х.Н., Суюндиков У.А., Худайбергенов Х.Ш. Потребность в белках, маслах, углеводах, минералах при выращивании рыбы. // Экономика и социум. 2020. №11. С. 647-651.
3. Колмаков В.И., Колмакова А.А. Аминокислоты в перспективных кормах для аквакультуры рыб: обзор экспериментальных данных. // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2020. Т. 13. №. 4. С. 424-442.
4. Радчиков В.Ф. и др. Повышение эффективности выращивания карпа за счет снижения стоимости комбикормов. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2022. № 55. С. 52-56.
5. Скляр В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО, 2008. 150 с.
6. Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.
7. Японцев А., Лемме А., Коблер К. Оптимизация уровня синтетических аминокислот в кормах для карпа. // Комбикорма. 2014. №. 1. С. 65-66.
8. Ahmed I., Khan M. A. Dietary tryptophan requirement of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton). // Aquaculture research. 2005. Vol. 36. nr 7. P. 687-695.
9. Ayub A., Rasool F., Khan N., Qaisrani S.N. Limiting amino acids supplementation in low crude protein diets and their impacts on growth performance and carcass composition in *Labeo rohita* (rohu) adult fish. // Brazilian Journal of Biology. 2021. Vol. 83: e249422.
10. Chamodi K.K.D., Nguyen V.T., Domingos J., Loh J.-Y. Cellular solutions: evaluating single-cell proteins as sustainable feed alternatives in aquaculture. // Biology. 2025. Vol. 14. nr 7. P. 764.

11. Chen W., Luo L., Han D., Long F. Effect of dietary supplementation with *Chlorella sorokiniana* meal on the growth performance, antioxidant status, and immune response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). // *Journal of Applied Phycology*. 2021. Vol. 33. nr 5. P. 3113-3122.
12. Corcoran M., Roberts-Sweeney H. Aquatic animal nutrition for the exotic animal practitioner. // *The Veterinary Clinics of North America. Exotic Animal Practice*. 2014. Vol. 17. nr 3. P. 333-346.
13. Debnath S., Saikia S.K. Absorption of protein in teleosts: a review. // *Fish Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 47. nr 2. P. 313-326.
14. Stephen J. et al. Fermented cottonseed meal as an alternative for groundnut oil cake in aquafeed // *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2022. Vol. 10. nr 1. P. 151-154.
15. Dong Y.W. et al. Nutritional digestion and absorption, metabolism fates alteration was associated with intestinal function improvement by dietary threonine in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon Idella*). // *Aquaculture*. 2022. Vol. 555: 738194.
16. Du Y. et al. Effects of supplementing coated methionine in a high plant-protein diet on growth, antioxidant capacity, digestive enzymes activity and expression of TOR signaling pathway associated genes in gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. // *Frontiers in Immunology*. 2024. Vol. 15: 1319698.
17. Fang C.C. et al. Effects of dietary methionine on growth performance, muscle nutritive deposition, muscle fibre growth and type I collagen synthesis of on-growing grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). // *British Journal of Nutrition*. 2021. Vol. 126. nr 3. P. 321-336.
18. Fantatto R.R. et al. Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: the role of insects. // *Aquaculture Reports*. 2024. Vol. 37: 102228.
19. Fernandes T., Cordeiro N. Microalgae as sustainable biofactories to produce high-value lipids: Biodiversity, exploitation, and biotechnological applications. // *Marine drugs*. 2021. Vol. 19. nr 10. P: 573.
20. Gamboa-Delgado J., Márquez-Reyes J.M. Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. // *Reviews in Aquaculture*. 2018. Vol. 10. nr 1. P. 224-246.
21. Gao S. et al. Microalgae as fishmeal alternatives in aquaculture: Current status, existing problems, and possible solutions. // *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 31. nr 11. P. 16113-16130.
22. Glencross B.D., Huyben D., Schrama J. W. The application of single-cell ingredients in aquaculture feeds: a review. // *Fishes*. 2020. Vol. 5. nr 3. P. 22.
23. Harmantepe B., Yılmaz E. Effects of spirulina and chlorella used as protein source on growth and digestion enzymes of common carp (*Cyprinus carpio*, L., 1758). // *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 2025. Vol. 13. nr 3. P. 787-793.
24. Hofer R. *Cyprinid fishes: systematics, biology and exploitation*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1991. P. 413-425.
25. Hu Y. et al. Lysine deficiency impaired growth performance and immune response and aggravated inflammatory response of the skin, spleen and head kidney in grown-up grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). // *Animal Nutrition*. 2021. Vol. 7. nr 2. P. 556-568.
26. Hussain S.M. et al. Substitution of fishmeal: highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. nr 4: e26573.
27. Jia S. et al. Protein-sourced feedstuffs for aquatic animals in nutrition research and aquaculture. // *Recent advances in animal nutrition and metabolism*. Cham: Springer International Publishing. 2021. Vol. 1354. P. 237-261.
28. Ip Y.K., Chew S.F. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. // *Frontiers in Physiology. Sec. Aquatic Physiology*. 2010. Vol. 1: 134
29. Khan M.A., Abidi S.F. Dietary methionine requirement of Indian major carp fry, *C. irrhinus mrigala* (Hamilton) based on growth, feed conversion and nitrogen retention efficiency. // *Aquaculture Research*. 2013. Vol. 44. nr 2. P. 268-281.
30. Li S. et al. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. // *Aquaculture*. 2017. Vol. 477. P. 62-70.
31. Liang X. et al. Effects of dietary protein sources on growth performance and feed intake regulation of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). // *Aquaculture*. 2019. Vol. 510. P. 216-224.
32. Lin Y. H., Cheng M. Y. Effects of dietary organic acid supplementation on the growth, nutrient digestibility and intestinal histology of the giant grouper *Epinephelus lanceolatus* fed a diet with soybean meal. // *Aquaculture*. 2017. Vol. 469. P. 106-111.

33. Macusi E.D. et al. Factors that influence small-scale Fishers' readiness to exit a declining fishery in Davao Gulf, Philippines. // *Ocean Coast. Manag.* 2022. Vol. 230: 106378
34. Marzouk Y. et al. Impacts of poultry by-product meal substituting fishmeal on growth efficiency, body composition, liver, and intestine morphology of European sea bass, *Dicentrarchus*. // *Food Chemistry*. 2024. Vol. 23: 101569.
35. Jobling, M. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. // *Aquaculture International*. 2012. Vol. 20. P. 601-602
36. Øverland M., Skrede A. Yeast derived from lignocellulosic biomass as a sustainable feed resource for use in aquaculture. // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017. Vol. 97. nr 3. P. 733-742.
37. Ruiz A. et al. Single cell protein from methanotrophic bacteria as an alternative healthy and functional protein source in aquafeeds, a holistic approach in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. // *Aquaculture*. 2023. Vol. 576: 739861.
38. Samsing F. et al. Replacement of fishmeal with a microbial single-cell protein induced enteropathy and poor growth outcomes in barramundi (*Lates calcarifer*) fry. // *Journal of Fish Diseases*. 2024. Vol. 47. nr 9: e13985.
39. Serra V. et al. Alternative protein sources in aquafeed: Current scenario and future perspectives. // *Veterinary and Animal Science*. 2024. Vol. 25: 100381.
40. Signor A. et al. Lisina em dietas para alevinos de carpa comum. // *Boletim do Instituto de Pesca*. 2017. Vol. 43. nr 3. P. 464-473.
41. Tang L. et al. Effect of tryptophan on growth, intestinal enzyme activities and TOR gene expression in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Studies in vivo and in vitro. // *Aquaculture*. 2013. Vol. 412. P. 23-33.
42. Wu P. et al. The relationship between dietary methionine and growth, digestion, absorption, and antioxidant status in intestinal and hepatopancreatic tissues of sub-adult grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2017. Vol. 8. nr 1. P. 63.
43. Xu X. et al. Effects of replacing fishmeal with cottonseed protein concentrate on growth performance, flesh quality and gossypol deposition of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). // *Aquaculture*. 2022. Vol. 548: 737551.
44. Zehra S., Khan M.A. Dietary tryptophan requirement of fingerling *Catla catla* (Hamilton) based on growth, protein gain, RNA/DNA ratio, haematological parameters and carcass composition. // *Aquaculture nutrition*. 2015. Vol. 21. nr 5. P. 690-701.

References (for publications in Russian)

1. Ageev, A.V. [Fish meal and aquaculture]. *Kombikorma* (Compound feed). 2022. 12: 20-24.
2. Dodaev K.A., Niyozov X.N., Suyundikov U.A., Xudajberganov X.Sh. [The need for proteins, oils, carbohydrates, and minerals in fish farming]. *E'konomika i socium* (Economics and society). 2020. 11: 647-651.
3. Kolmakov V.I., Kolmakova A.A. [Amino acids in promising fish aquaculture feeds: an overview of experimental data]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya* (Journal of the Siberian Federal University. Biology). 2020. 13(4): 424-442.
4. Radchikov V.F. et al. [Increasing the efficiency of carp cultivation by reducing the cost of compound feed]. *Mexanizatsiya i e'lektrifikatsiya sel'skogo xozyajstva* (Mechanization and electrification of agriculture). 2022. 55: 52-56.
5. Sklyarov V.Ya. *Korma i kormlenie ryb v akvakul'ture* (Fish feed and feeding in aquaculture). Moscow: VNIRO Publ., 2008. 150 pp.
6. Shcherbina M.A., Gamygin E.A. *Kormlenie ryb v presnovodnoi* ([ish feeding in freshwater aquaculture). Moscow: VNIRO Publ., 2006. 360 pp.
7. Yaponcev A., Lemme A., Kobler K. [Optimization of the level of synthetic amino acids in carp feed] *Kombikorma* (Compound feed). 2014. 1: 65-66.

UDC 639.3.043.2

**Modern estimates of the requirements for limiting amino acids
and feed protein sources in cyprinid fish**

¹ Zelenchenkova A.A., ² Mamonova A.S.

*Federal Research Center for Animal Husbandry, ¹Ernst VIZh,
Podolsk-Dubrovitsy; ²Institute of Integrated Fish Farming, Vorovsky Settlement,
Moscow oblast, Russian Federation*

ABSTRACT. Current areas in the development of fish farming technologies include studying the physiological needs of fish, species-specific protein metabolism characteristics, and the search for economically viable alternatives to traditional fishmeal. The aim of this study is to systematize the latest data on species- and age-specific requirements for essential amino acids (methionine, lysine, threonine, and tryptophan), physiological limitations in feed protein digestibility, and its role in improving productivity and maintaining health in carp fish. Particular attention has been paid to alternative protein sources such as soybean, cottonseed, and rapeseed meals, and corn gluten meal, analyzing their advantages and disadvantages (amino acid deficiencies and anti-nutritional factors). Animal by-products, such as poultry meal, are considered as a substitute for fishmeal (FM), as they can replace up to 50% of FM in feed. The use of phytobiotics in aquaculture feed – microalgae, yeast, and bacterial proteins is described, with an assessment of their nutritional value and application prospects, as well as insect proteins (black soldier fly, mealworm), with optimal inclusion levels in the diet indicated. Concluded that further research is needed to develop balanced feeds that combine affordability, nutritional value, and environmental safety.

Keywords: aquaculture, carp, protein nutrition, fishmeal, alternative protein sources, essential amino acids.

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh (Productive Animal Biology). 2025. 4: 123-131.

Поступило в редакцию: 22.05.2025 .

Получено после доработки: 04.06.2025

Сведения об авторах:

Зеленченкова Алёна Анатольевна, с.н.с., к.с.-х.н., зав. лаб 8-916-096-37-83; aly4383@mail.ru,
Мамонова Анастасия Сергеевна, с.н.с., зав. лаб., 8(985)155-63-09; mamonova84@gmail.com