

Министерство сельского хозяйства российской федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»

На правах рукописи

САЛЕХ ХАТЕМ

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМИНОКИСЛОТНОЙ
ДОБАВКИ L- ИЗОЛЕЙЦИНА И ДРУГИХ РАЗВЕТВЛЕННЫХ
АМИНОКИСЛОТ В КОМБИКОРМАХ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ
НИЛЬСКОЙ ТИЛЯПИИ (*Oreochromis niloticus*)**

4.2.4 – Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и
производства продукции животноводства

Диссертация
на соискание учёной степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
старший научный сотрудник
Шаповалов Сергей Олегович

Москва, 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	4
1.	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
1.1.	Развитие аквакультуры в мире и в России	14
1.2.	Развитие аквакультуры в Сирии	16
1.3.	Рыбохозяйственная и биологическая характеристика тилапии	21
1.4.	Белковое питание рыб	28
1.4.1.	Роль белка в питании рыб и его источники в кормах	31
1.4.2.	Источники белка животного происхождения	32
1.4.3.	Источники белка растительного происхождения	34
1.4.4.	Источники белка побочных и альтернативных продуктов	36
1.5.	Аминокислотное питание рыб	38
1.5.1.	Потребность рыбы в аминокислотах с разветвленными боковыми цепями (лейцине, изолейцине и валине)	40
1.5.2.	Потребность рыбы в изолейцине	40
1.5.3.	Роль аминокислот с разветвленными боковыми цепями в метаболизме рыб	45
1.6.	Особенности использования модели идеального протеина в кормлении рыб	47
2.	МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЙ	50
2.1.	Характеристика объектов и условия проведения исследований	50
2.2.	Техническая характеристика основных элементов системы выращивания	53
2.3.	Приготовление обработанного комбикорма с изолейцином и других незаменимыми аминокислотами	57
3.	РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	70
3.1.	Разработка методики определения изолейцина методом ИК-Фурье спектроскопии с использованием хемометрических моделей.	70

3.2.	Оценка влияния уровня изолейцина и разветвленных аминокислот в комбикорме на динамику живой массы и линейного роста по этапу онтогенеза Нильской тилляпии (первый научно-хозяйственный эксперимент)	74
3.3.	Изучение влияния уровня изолейцина в комбикорме на рост и продуктивность Нильской тилляпии (<i>O. niloticus</i>) (второй научно-хозяйственный эксперимент)	86
3.3.1.	Продуктивные, экстерьерные и интерьерные показатели Нильской тилляпии	86
3.3.2.	Рыбоводно-биологические показатели Нильской тилляпии	105
3.3.3.	Органолептический анализ мяса Нильской тилляпии	111
3.4.	Производственная апробация по испытанию лучшего варианта рациона с уровнем изолейцина и других ВСАА (третий научно-хозяйственный эксперимент).....	131
3.4.1.	Показатели роста тилляпий Нильской тилляпии	131
3.4.2.	Рыбоводно-биологические показатели Нильской тилляпии	134
3.4.3.	Биологическая и энергетическая ценность мяса Нильской тилляпии при разных уровнях изолейцина в комбикорме.....	137
3.5.	Оценка экономической эффективности при разных уровнях изолейцина в комбикорме Нильской тилляпии	157
3.6	Модель идеального протеина в кормлении тилляпии.	161
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	168
	ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	174
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	175
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	176
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	207
	ПРИЛОЖЕНИЕ	208

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Аквакультура приобретает все большее значение для обеспечения населения высококачественным животным белком, необходимым для улучшения роста, развития и здоровья (Щербина М. А., Гамыгин Е. А. 2006., Фаритов Т. А., 2016, Жигин А.В., 2021).

Рыбный сектор в Сирийской Арабской республике сталкивается со многими трудностями, в первую очередь из-за высокой себестоимости производства, дефицита источников энергии, отсутствия ветеринарной помощи, а также отсутствия квалифицированных кадров. Годовой рацион мяса рыбы на душу населения составляет не более 0,5 кг, что является очень небольшим показателем по сравнению с общемировым, который в 2021 году достиг 20,2 кг (ФАО, 2022).

Существует несколько естественных причин, по которым воды Сирийского моря бедны морской рыбой, в том числе короткое сирийское побережье протяженностью всего 183 км, в дополнение к узости континентального шельфа, который иногда составляет около 3-8 км, и на расстоянии около 20 км в Хамидии (к югу от Тартуса), в то время как ширина континентального шельфа многих богатых рыбой стран достигает в два раза большей величины. Что касается пресной воды, Ахмед объяснил, что недостаток рыбы в ней обусловлен переловом рыбы, несоблюдением периодов запрета на вылов рыбы, слабыми инвестициями в рыбоводство, высокими затратами на разведение, а также выходом большого количества ферм и водоемов из инвестиций в результате саботажа или заброшенности в последние годы из-за войны. Предметом общественного обсуждения или озабоченности по поводу аквакультуры является ее экологическая устойчивость, поскольку многие виды рыб предъявляют высокие требования к пищевому белку и рыбной муке. Белок или аминокислоты, которые являются основным компонентом роста тканей, как правило, являются самыми дорогими питательными веществами в животноводстве и, следовательно,

имеют решающее значение для производства кормов для водных организмов (Жигин А.В., 2011).

Более 70% производственных затрат зависит от поставок комбикормов.

Имеются убедительные доказательства того, что достаточное количество как традиционно относящихся к категории незаменимых аминокислот (ЕАА), так и незаменимых аминокислот в рационе улучшает рост, развитие и продуктивность водных животных. Процессы утилизации пищевых аминокислот или белка животными включают переваривание, всасывание и метаболизм. Аминокислоты являются основой всех жизненных процессов, поскольку они абсолютно необходимы для каждого метаболического процесса. Большинство заболеваний, таких как высокий уровень холестерина, диабет, бессонница или артрит, в основном связаны с нарушениями обмена веществ (Ling ZN *et al.*, 2023). Рыба имеет большое значение в питании человека, поскольку является источником пищи, богатой животным белком и аминокислотами, которые служат предшественниками для синтеза широкого спектра биологически важных веществ, включая нуклеотиды, пептидные гормоны и нейротрансмиттеры (Жигин А.В., 2011). Кроме того, эти материалы играют важную роль в передаче сигналов клетками и действуют как регуляторы экспрессии генов и каскада фосфорилирования белков, транспорта питательных веществ и метаболизма в клетках, а также врожденных и клеточно-опосредованных иммунных ответов (Скляр В.Я., 2008; Грозеску Ю.Н., Пономарев С.В., Бахарева А.А., 2013). По прогнозам, к 2030 году производство водных животных вырастет еще на 14%. Жизненно важно, чтобы этот рост шел параллельно с сохранением экосистем, сокращением загрязнения, защитой биоразнообразия и обеспечением социальной справедливости. В прогнозе ФАО по рыбоводству и аквакультуре до 2030 года прогнозируется увеличение производства, потребления и торговли.

В основе разработки кормов лежит концепция идеального белка — эффективного способа снизить долю белка в рационе, не отступая от

потребностей рыб в аминокислотах (Галушкин В. А., Галушкина В. В., 2012). Более полное использование белка и уменьшение его ввода в корма сокращают производственные затраты, повышают рентабельность фермы и снижают вылов дикой рыбы, идущей на приготовление рыбной муки. Идеальный белок — это белок с точно выверенным балансом аминокислот, который обеспечивает наилучшую продуктивность и максимальный рост (например, размер, масса туши, выход и состав тела) (Мясников Г. Г. 2020; Шаповалов, С. О. 2023).

В целом содержание белка в теле рыбы может составлять от 15% до 25% в зависимости от вида, возраста и масса рыбы. Эквивалентом нормирования может служить соотношение всех аминокислот в теле рыбы к лизину, также принятому за 100. Аминокислоты с разветвленной цепью составляют 14% от общего количества аминокислот, присутствующих в белке скелетных мышц животных, а у рыб составляют примерно 20-25% и их количество зависит от общего состава белка в мышцах рыбы. Они участвуют в синтезе белка, синтезе аминокислотных нейротрансмиттеров, выработке энергии и разделении глутамата, и должны поступать в организм с кормом (Еримбетов К. Т., Обвинцева О. В *et al.*, 2021).

Так, например, если в мясе рыбы уровень протеина составляет 20%, то уровень лизина 1,8%, изолейцина 0,7%, валина 0,9%, лейцина 1,6%, если принять лизин в мясе рыб за 100%, то соответственно соотношение изолейцина, валина, лейцина в мясе рыб будет следующим: 39%:50%:89% или 1:1,28:2,28. Результаты ряда других исследований показали, что снижение количества интактного белка без добавления аминокислот приводило к снижению роста. Добавление кристаллических аминокислот улучшило скорость роста. Дальнейшие исследования улучшили баланс аминокислот, подтвердив необходимость некоторых аминокислот, таких как валин. Ежедневное потребление аминокислот, особенно изолейцина, имело решающее значение.

Рационы с добавками аминокислот превосходили рационы без них, что указывает на их важность в удовлетворении потребностей рыб в азоте. Ряд работ показывают, что идеальная концепция белка может оптимизировать рацион нильской тилляпии, но при низком уровне белка могут потребоваться добавки аминокислот. Многие авторы отмечают, что у рыбы нет особой потребности не столько в белке как таковом, сколько в наборе незаменимых аминокислот. Другими словами, рыбе необходимы незаменимые аминокислоты в пищевом белке, а не белок как таковой (Andersen *et al.*, 2016; Японцев А. Э., 2021; Li. *et al.*, 2020; Pedrazzani *et al.*, 2020; Xing *et al.*, 2023). Разработка, апробация и внедрение рационов с добавлением аминокислот с разветвлённой цепью — изолейцина, лейцина и валина — остаются насущной задачей современной нутрициологии и биологии. Её значимость обусловлена вкладом этих аминокислот в продуктивность и их влиянием на метаболизм цихлид.

Степень разработанности темы. Многие российские и зарубежные учёные посвятили свои исследования разработке и совершенствованию кормовых рецептов для питания рыб, а также поиску оптимального соотношения аминокислот с разветвлённой цепью (L-изолейцин, L-лейцин и L-валин) для выявления наиболее эффективного белкового состава. Основы этой гипотезы были заложены в работах: Гусева Ю.А., и др. (2020); Жигин А. В., Есавкин Ю. И. (2021); Ранделин Д. А. (2021); Jiang, Q., (2021); Аринжанова М. С., и др. (2023); Lim С. (2024); De Bandt (2022); Wu, G.(2022); Furuya, W.M (2023); Буряков Н.П., и др. (2022); Буряков Н.П., и Молдавский Ю. А. (2024); Привезенцев, Ю. А.(2011); Пазылбеков М. Ж., и др. (2019); Ahmad, I. (2021).

Нильская тилляпия (*Oreochromis niloticus*) является типичным представителем пресноводных рыб, а её выращивание давно признано одним из перспективных секторов производства продуктов питания, способным обеспечить человека питательной и безопасной продукцией. Этот вид остаётся одной из важнейших объектов мировой аквакультуры (Geletu, T.T., 2022; Власов, В. А., и др. 2017). Протеин корма и образующие его

аминокислоты участвуют в построении тканей и в метаболических процессах всех живых организмов. Однако рыбы, как и большинство позвоночных, не способны синтезировать весь набор жизненно необходимых аминокислот.

Эти соединения должны поступать с кормом в количествах, достаточных для эффективного роста и нормального физиологического состояния. По данным российских публикаций, в основу разработки положен поиск оптимального белкового состава с разным соотношением аминокислот с разветвлённой цепью (BCAA) — L-изолейцина, L-лейцина и L-валина — с целью снизить затраты на корма и повысить продуктивность. Мы также стремимся применить этот подход в странах Ближнего Востока, включая Сирийскую Арабскую Республику. Обобщение накопленного опыта и разработка предложений по повышению эффективности использования современных технических возможностей путём оптимизационных расчётов является актуальной задачей.

Объект исследования – Нильская тилapia (*Oreochromis niloticus*) на различных этапах продуктивного онтогенеза.

Предмет исследования – влияние различий в количестве и пропорциях аминокислот с разветвлённой цепью (L-изолейцина, L-лейцина и L-валина) в составе комбикормов на: продуктивные показатели (рост, скорость набора масса, затрат корма); качество продукции (биологическая и энергетическая ценность мышечной ткани, органолептические свойства); экономическую эффективность.

Целью исследования являлась изучение разного уровня добавленных разветвленных аминокислот, в том числе изолейцина в рационы нильской тилпии *O. niloticus* на продуктивные показатели в онтогенезе.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи:**

1. Разработать калибровочные решения для «чистых» форм аминокислот: лизин, метионин, валин, треонин, триптофан, изолейцин (качественно по форме и по содержанию массовой доли активного вещества)

с использованием инфракрасных методов определения в ближнем волновом диапазоне;

2. Разработать рецепты рационов с «чистыми» формами разветвленных аминокислот соответствующих стандартам Халяль (с полным исключением мясокостной муки и продуктов её переработки;

3. Оценить показатели продуктивности при использовании экспериментальной диеты в рационах нильскаой тилляпии *O. niloticus* при включении в комбикорма разного уровня и соотношения разветвленных аминокислот L-изолейцина, L-лейцина, L-валина;

4. Определить биологическую, энергетическую ценность мышечной ткани нильскаой тилляпии *O. niloticus* и провести ее органолептическую оценку;

5. Сравнить мировые модели «идеального протеина» для рационов рыб нильскаой тилляпии *O. niloticus* для с разработанной моделью «идеального протеина»;

6. Провести оценку экономической эффективности при разных уровнях изолейцина в комбикорме тилляпии и разного соотношения разветвленных аминокислот L-изолейцина, L-лейцина, L-валина.

Научная новизна исследований. Впервые на кафедре кормления животных РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева в период с 2021 по 2026 год разработана и представлена комплексная калибровочная модель для быстрого определения основного вещества в кормовых аминокислотах с использованием инфракрасной спектроскопии в ближнем ИК-диапазоне. Разработаны рецепты комбикормов для производства гранулированного комбикорма без мясокостной муки с «чистыми» формами разветвленных аминокислот. Определены оптимальные рецепты комбикормов с добавлением разветвленных аминокислот: L-изолейцина, L-лейцина, L-валина. Оценены показатели продуктивности, химический, состав мышечной ткани нильскаой тилляпии *O. niloticus*. Определена экономическая эффективность дополнительного использования «чистого» L-изолейцина, L-лейцина, L-

валина в рационах при выращивании нильской тиляпии. Представлены данные для возможной коррекции модели «идеального протеина» тиляпии.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в изучении различных уровней добавления аминокислот с разветвлённой цепью (ВСАА), включая изолейцин, уровней добавления разветвленных аминокислот, включая изолейцин, в рационы тиляпии для повышения продуктивных показателей в онтогенезе отражает теоретическую и практическую значимость анализа традиционных технологий производства комбикормов для рыб с последующим формированием направлений дальнейшего улучшения баланса аминокислот с использованием базовых «чистых» форм синтетических аминокислот. Представленные хеометрические модели предсказания концентрации аминокислот смогут помочь оперативно контролировать содержание разветвленных аминокислот: L-изолейцина, L-валина и L-лейцина в самих продуктах, а также будут отражать фактическую концентрацию, которую можно будет использовать для программ расчета рецептов и рационов.

Практическая значимость работы. Заключается в рекомендациях по составу комбикормов для тиляпии, разработанных на основе обобщения российского опыта в области концепции «идеального протеина». Были установлены нормы ввода и оптимальные соотношения аминокислот с разветвлённой цепью, а также эффективные методы их применения в рецептурах, основанных на использовании синтетических L-изолейцина, L-валина и L-лейцина, что снижает себестоимость кормов и повышает продуктивность выращивания. Разработанные хеометрические модели для оперативного контроля содержания аминокислот позволяют оценить их фактическую концентрацию в кормах в условиях реального производства.

Передача российского научного опыта университету Латакии в Сирийской Арабской Республике способствует повышению качества образовательных программ и подготовке специалистов в области аквакультуры. Более того, внедрение научных рекомендаций по улучшению

аминокислотного состава кормов повысит эффективность производства на местном и региональном уровнях, укрепит продовольственную безопасность и будет способствовать устойчивому развитию отрасли. Предоставление фермерам практических рекомендаций по улучшению качества кормов положительно скажется на росте производства и качества продукции в Сирии и регионе. Эти рецептуры способствуют тому, чтобы конечный продукт (рыба) полностью соответствовал строгим стандартам Халяль и мог быть официально сертифицирован для религиозного населения мусульманских стран.

Методология и методы исследования. Методология данного исследования предполагает достижение поставленных целей и применение их путем сочетания традиционных и современных методов аквакультуры. Для изучения физиологических потребностей рыб, включая зоологические, морфологические, биохимические, гидрохимические и другие параметры, использовались как традиционные, так и современные методы аквакультуры.

Методы исследований: системный анализ, статистическая оценка данных по показателям условий работы, экономико-математическое моделирование, хеометрический анализ, биохимический анализ, морфологический анализ, химический анализ мышечной ткани, дегустационная (сенсорная) оценка.

Результаты исследований обработаны с помощью статистических анализов в соответствии с общепринятыми биометрическими методами с использованием Microsoft Excel (2010, 2016). Статистическая значимость оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента; пороговый уровень значимости был установлен на значении $p < 0,05$.

Положения, выносимые на защиту:

1. Построена хеометрическая модель предсказания концентрации и «чистых» форм аминокислот. Рассчитано калибровочное уравнение для оценки «чистой» формы изолейцина и других аминокислот в коммерческих продуктах для комбикормов.

2. Использование L-изолейцина в рационе влияет на увеличение роста и показателей продуктивности, незначительно изменяет химический состав мышечной ткани нильской тиляпии *O. niloticus*.

3. Применение L-изолейцина и других разветвленных форм аминокислот таких как валин и лейцин влияет на метаболические процессы и уровень ретенции азота при выращивании тиляпии.

4. Добавление L-изолейцина снижает затраты и повышает экономическую эффективность при выращивании тиляпии.

5. Модель «идеального протеина» может быть использована для обоснования физиологической потребности нильской тиляпии *O. niloticus* в изолейцине и других разветвленных аминокислотах.

Степень достоверности результатов. Современные методы научного исследования и общепринятые биометрические методики, адекватные математические модели аппроксимации экспериментальных данных и статистический анализ в Microsoft Excel обеспечивают достоверность результатов. Полученные значения оценивали при уровне значимости $p < 0,05$, как представлено в работе Плохинский Н.А., 1970.

Апробация результатов исследований. Материалы диссертации прошли апробацию на научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева (Москва, 2023 г.); научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича, (г. Москва, 3-5 июня 2024 г.); VII международной научной конференции «Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий (Луганск, 9-10 февраля 2026 г.); научной конференция «Современное животноводство: задачи, проблемы, решение», посвящённой 80-летию кафедры «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» и 100 – летию доктора с.-х. наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Владимира Михайловича Куликова, (г. Волгоград, 16-18 декабря 2025 г.); На конкурсе «За производство высококачественных кормов и кормовых добавок», проходившем в рамках 25-

й и 26-й Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» (Москва, 2023, 2024), работа удостоена двух золотых медалей.

Публикация результатов исследования. По материалам диссертации опубликовано 13 научных работ. В их числе 4 статьи в журналах, одобренных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 3 патента, монография и материалы двух конкурсов «Золотая осень».

Реализация результатов исследований. Диссертация представляет собой завершённое исследование. Его результаты имеют научную, теоретическую, практическую и экономическую ценность для аквакультуры. Экспериментальную часть мы выполнили на кафедре кормления животных в рамках темы: «Эффективность использования аминокислотной добавки L-изолейцина и других разветвленных аминокислот в комбикормах при выращивании нильскоой тиляпии (*Oreochromis niloticus*)».

Личный вклад автора. Экспериментальный и практический материал диссертации автор получил лично. Он самостоятельно изучил литературу, провёл информационный поиск, выполнил экспериментальную и методологическую часть работы. Полученные данные автор интерпретировал, проанализировал и обобщил.

Структура и объем работы. Диссертация занимает 222 страницы печатного текста. Она состоит из введения, обзора литературы, специальных исследований, обсуждения результатов, выводов, списка литературы, перечня сокращений и условных обозначений, а также приложений. В работе 53 таблицы и 17 рисунков. Библиография насчитывает 248 источников, из них 186 — иностранные.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Развитие аквакультуры в мире и в России

В 2020 году мировое производство аквакультуры составило около 122,6 млн тонн, из которых 87,5 млн тонн приходится на водные виды спорта и 35,1 млн тонн - на водоросли. Ожидалось, что объемы производства вырастут еще больше, но негативные последствия пандемии COVID-19, особенно в Китае, существенно ограничили этот рост. Несмотря на это, в 2020 году доля аквакультуры в мировом производстве стала рекордной и составила 49,2% от общего объема. Несмотря на разнообразие видов рыб, выращиваемых на фермах, в мировом производстве доминирует ограниченное число видов, особенно гребенчатый и белый амур (*Hypophthalmichthys molitrix*) в пресноводных водах и атлантический лосось (*Salmo salar*) в морских водах. 89% этой продукции было направлено непосредственно на потребление человеком, по сравнению с 67% в шестидесятых годах прошлого века, в то время как оставшийся процент использовался для непродовольственных целей, таких как производство рыбной муки, рыбьего жира, аквариумных рыбок и использование в фармацевтике (FAO, 2022) [115].

Рыба имеет большое значение в питании человека, поскольку является источником пищи, богатой животным белком и аминокислотами [180], которые служат предшественниками для синтеза широкого спектра биологически важных веществ, включая нуклеотиды, пептидные гормоны и нейротрансмиттеры. Кроме того, эти материалы играют важную роль в передаче сигналов клетками и действуют как регуляторы экспрессии генов и каскада фосфорилирования белков, транспорта питательных веществ и метаболизма в клетках, а также врожденных и клеточно-опосредованных иммунных ответов [154, 236]. В продовольственном обеспечении населения планеты рыба и морепродукты занимают существенную долю. Согласно данным ФАО, на рыбу приходится 17% животного белка в рационе населения мира и 7% общего количества потребляемого белка [172]. В последнее время

особо подчёркивается, что рыбоводство обладает огромным потенциалом для того, чтобы прокормить растущее население мира.

Но рост должен быть устойчивым. Устойчивое развитие аквакультуры по-прежнему имеет решающее значение для удовлетворения растущего спроса на водные продукты питания. По прогнозам, к 2030 году производство водных животных вырастет еще на 14%. Жизненно важно, чтобы этот рост шел параллельно с сохранением экосистем, сокращением загрязнения, защитой биоразнообразия и обеспечением социальной справедливости. В прогнозе ФАО по рыбоводству и аквакультуре до 2030 года прогнозируется увеличение производства, потребления и торговли. Ожидается, что общий объем производства водных ресурсов достигнет 202 млн. тонн к 2030 году [115]. К 2050 году, по данным ФАО, необходимо будет обеспечить продовольствием более 9 млрд. человек на Земле, т.е. для производства потребуется на 60% больше продовольствия, чем производится в настоящее время. При уменьшении объемов товарного производства рыбы и увеличении численности населения мира возможно насытить потребительский рынок рыбной продукцией, используя аквакультуру [114]. Аквакультура — это разведение, содержание и выращивание рыбы, других водных животных, растений и водорослей под полным или частичным контролем человека. Такая деятельность служит получению товарной продукции, пополнению коммерческих запасов водных биоресурсов, сохранению их биоразнообразия и рекреации [13]. По объёму водного фонда внутренних водоёмов и прибрежных морских акваторий Россия занимает первое место в мире. В его состав входят 22,5 млн га озёр, 4,3 млн га водохранилищ, 0,96 млн га многофункциональных сельскохозяйственных водохранилищ, 142,9 тыс. га прудов и 523 тыс. км рек. Береговая линия протянулась примерно на 60 тыс. км. Морские районы Баренцева, Белого, Азовского, Чёрного, Каспийского и Дальневосточного морей, пригодные для размещения марикультурных комплексов, охватывают около 38 тыс. км² [149]. Таким образом, рыболовство является традиционной отраслью в России и включает в себя следующие виды

предпринимательской деятельности: рыболовство или вылов рыбы, рыбоводство, переработка и производство рыбы [207]. Отмечается, что разведение рыбы в России восходит к средневековью, когда оно осуществлялось в монастырских прудах. В начале пятнадцатого века при дворе Ивана Грозного была школа рыбоводов. Первоначальный прогресс в разведении рыбы произошел в середине девятнадцатого века, когда русский ученый-практик Владимир В. П. разработал сухой (русский) метод осеменения рыбных яиц. В работах Российского федерального научно-исследовательского института рыбного хозяйства отмечают, что этот метод положил начало искусственному выращиванию лососевых, карповых, осетровых и других видов рыб [29].

В настоящее время в Российской Федерации существует четыре вида аквакультурой деятельности: пастбищная, прудная, промышленная и рекреационная. В водоемах Российской Федерации обитает 295 видов пресноводных рыб. Искусственно выращиваются 63 вида рыб, ракообразных и моллюсков. В настоящее время культивируется 27 пород рыб, помесей, а также 9 одомашненных форм карпа, лосося, осетровых, корегонид и цихлид. Наиболее важными являются обыкновенный карп (*Cyprinus carpio*), толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), толстолобик (*Hypophthalmichthys nobilis*), белый амур (*Ctenopharyngodon idellus*), форель (*Salmo trutta morpha lacustris*) и осетр (*Acipenser gueldenstaedtii*). Его нынешний этап развития характеризуется, среди прочего, более широким спектром культивируемых видов, переходом к полунинтенсивным методам и использованием современных методов кормления [76].

1.2. Развитие аквакультуры в Сирии

Выращивание тилапии широко практикуется в тропических и субтропических регионах с ежегодным приростом в 12% благодаря ее высокой скорости роста, устойчивости к болезням и низкому уровню трофического питания. Рост производства аквакультуры удвоил спрос на рыбную муку,

которая на протяжении десятилетий была наиболее предпочтительным белковым компонентом. Запасы рыбной муки недостаточны для поддержания текущих темпов роста отрасли аквакультуры [189].

Исследование, проведенное Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) в 2022 году, выявило наличие в Сирийской Арабской Республике 671 фермы по разведению пресноводной рыбы, производящей около 7800 тонн пресноводной рыбы, что составляет около 80% от общего объема производства рыбы в стране. Наиболее распространенными культивируемыми видами являются карп обыкновенный (*Cyprinus carpio*), нильская тилapia (*Oreochromis niloticus*), радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*). Кроме того, три других вида выращиваются вторично в полуинтенсивных системах культивирования для снижения затрат, а именно: африканский морской гребешок (*Clarias gariepinus*), толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*) и белый амур (*Ctenopharyngodon idella*). По данным ФАО за 2020 год, среднегодовое потребление рыбы на человека составляет около 20,5 кг. Лидеры странами-потребителями являются Мальдивы, Исландия, Япония и Португалия, где потребление рыбы на человека превышает 50 кг в год. В России этот показатель составляет около 22 кг, в США — 24 кг, а в Европейском союзе — в среднем 25 кг. Страны с низким потреблением (менее 10 кг) обычно расположены во внутренних районах континента (Центральная Африка и некоторые регионы Центральной Азии) [115]. Рыбная отрасль Сирии сталкивается с множеством трудностей, прежде всего из-за высоких производственных издержек, дефицита энергоносителей и отсутствия ветеринарного обслуживания, а также из-за отсутствия квалифицированного персонала. Годовая доля потребления рыбы на душу населения не превышает 0,5 кг, что считается очень низким показателем по сравнению с общемировым показателем, который в 2021 году достиг 20,2 кг. [64, 136].

Сирийская аквакультура практикуется исключительно в пресноводных водоемах в силу географических, природных, экономических и технических

факторов. Она также ограничена разведением рыбы, особенно теплой пресноводной рыбы. Основу промышленного рыбоводства составляют карп обыкновенный (*Cyprinus carpio*) и тиляпия. Среди систем производства преобладают садковое и прудовое разведение, а также рыболовство на основе аквакультуры в водосборных плотинах. В Сирии на долю рыбоводства сегодня приходится половина общего объема производства рыбы (то есть около 8682 тонн из 21017 тонн, произведенных в 2004 году [69]). Согласно статистике Главного управления рыболовства и аквакультуры, объем добычи морской рыбы в сирийских территориальных водах ежегодно колеблется от 2500 до 3000 тонн, что обусловлено многими факторами, влияющими на количество вылавливаемой рыбы. Статистика показывает, что производство пресноводной рыбы составляет 81 процент от общего объема производства рыбы в Сирии, что указывает на то, что комиссия работает над поощрением рыбоводства и аквакультуры в море и пресноводных водоемах, чтобы компенсировать нехватку морской рыбы. Начнем с того, что трудности и вызовы, с которыми сталкивается рыболовство и которые препятствуют его развитию, такие как чрезмерный вылов рыбы, загрязнение окружающей среды, изменения климата и последствия кризиса, пережитого страной, который повлиял на инфраструктуру рыбохозяйственных объектов, ограничили рост этого сектора, но, несмотря на проблемы и препятствия, Главное управление по рыболовству Министерство рыболовства обратило внимание на увеличение общего объема производства рыбы в Сирии за счет (ферм, плотин и морского рыболовства), где в 2019 году было добыто (4561) тонн, и достигло (12603) тонн в 2023 году, т.е. он отметил, что власти стремятся удвоить производство в течение следующего года, в ближайшие годы планируется принять ряд мер по защите рыбных запасов в водоемах.

Увеличение производства мальков и установление законов, регулирующих морской промысел, для сохранения и приумножения морских богатств. Существует несколько естественных причин, по которым воды Сирийского моря бедны морской рыбой, в том числе короткое сирийское

побережье протяженностью всего 183 км, в дополнение к узости континентального шельфа, который иногда составляет около 3-8 км, и на расстоянии около 20 км в Хамидии (к югу от Тартуса), в то время как ширина континентального шельфа многих богатых рыбой стран достигает в два раза большей величины [206].

Производство рыбы в Сирии увеличилось в 2021 году до 10 414 тонн после падения во время кризиса до 2900 тонн в 2015 году.

Что касается пресной воды, то Генеральный директорат рыболовства и аквакультуры пояснил, что нехватка рыбы в ней обусловлена переловом рыбы, несоблюдением периодов запрета на вылов рыбы, слабыми инвестициями в рыбоводство, высокими затратами на разведение, а также отказом большого числа ферм и водохранилищ от инвестиций в результате их разрушения или заброшенности в последние годы из-за войны [170]. Решения, необходимые для преодоления этой проблемы и увеличения производства, Главное управление рыболовства приняло ряд мер, наиболее важными из которых являются расширение производства сеголеток пресноводной рыбы для удовлетворения растущих потребностей за счет восстановления объектов и ферм, а также расширение интенсивного рыбоводства эксперименты в плавучих клетках на территориях управления и создание искусственных морских условий путем разработки механизмов и скоординированных металлических конструкций для защиты морской среды обитания пригодных для роста и размножения, а также работы по укреплению пунктов охраны для усиления мониторинга морских и пресноводных водоемов и другие меры, способствующие увеличению добычи и повышению доходов рыбаков [107, 112]. Рыбоводство было ориентировано на два очень важных вида рыб, где выращивание осуществлялось на пресноводных рыбах, начиная с обыкновенного карпа и заканчивая тилапией, которую многие считают гибридом голубой тилапии и индиговой тилапии, а также ведется работа по выращиванию 3 других подвидов африканского сома, белый амур и толстолобик [97]. В то время как в Сирии существуют 3 системы, основанные

на рыбоводстве, которые также представлены рыбными хозяйствами, прудами и садками, которые основаны на аквакультуре в водохранилищах и плотинах.

В расчете на одного рыбака отмечается, что в 2004 году на долю аквариумов приходилось 80,78% от общего объема систем рыбоводства, в то время как на долю садкового рыбоводства приходилось 12,44%, а на долю аквакультуры в рыболовстве, основанном главным образом на плотинах и водохранилищах, приходилось 6,78% [192]. Поскольку внимание было уделено аквариумам, продуктивность аквариумов была разделена в соответствии с критериями кормления на 3 секции. То есть при расширенном производстве рыбы продуктивность может достигать примерно 4 т/га, в то время как при полуинтенсивном производстве рыбы продуктивность составляла от 4 до 8 тонн с гектара, в то время как при интенсивном производстве рыбы она достигала 12,8 т/га, и это изменение в показателях продуктивности может быть связано с вариабельностью темпов подмены воды, а также стандартом и качеством кормов [82].

Смесь, предназначенная для выращивания пресноводных рыб в Сирийской Арабской Республике, таких как нильская тиляпия и карп, в Исследовательском центре устья Синара Главного управления рыбных и водных ресурсов, содержит 29,88% белка и состоит из рыбной муки, соевого шрота и хлопковой муки как источники белка (таблица 1.2.1). Затраты корма составил 2,75 при кормлении рыб кормовой смесью, указанной в таблице. Результаты химического состава мяса рыбы показали, что влажность 75,95%, общий белок 16,4%, жирность 5,08%, зольность 1,56%.

Исследование, проведенное Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) в шести азиатских странах (Китае, Индии, Вьетнаме, Бангладеш, Таиланде и Филиппинах), показало, что 92% фермеров занимались аквакультурой преимущественно для получения дохода и коммерческих целей, в то время как оставшееся меньшинство занималось ею для собственного пропитания или экспериментального обучения.

Таблица 1.2.1. Состав кормовой смеси для рыбного хозяйства в Сирийской Арабской Республике (в %)

Компонент	% введения
Метионин	0,5
Холина хлорид	0,5
Витамины и минералы	1,5
Рыбный мука	6
Кукуруза	4
Пшеничные отруби	22
Шрот хлопка	20
Соевый шрот	45
Антиоксидант	0,5
Содержание сырого протеина 29,88%	

Средняя годовая доходность инвестиций (ROI) в эти системы аквакультуры оценивалась примерно в 20% от первоначального капитала, что предполагает срок окупаемости около пяти лет при типичных условиях. Постоянные затраты (например, земля, пруды, садки) и переменные затраты (например, корма, рабочая сила, маркетинг) были определены как ключевые факторы, определяющие рентабельность, при этом затраты на корма часто составляли наибольшую долю операционных расходов» (ФАО, 2007) [113, 129].

1.3. Рыбохозяйственная и биологическая характеристика тилапии

В последние годы проблемы сокращения продовольственного разрыва между объёмами, производимыми естественным рыболовством, и потребностями человека в рыбе обострились по ряду причин, наиболее важными из которых являются: рост населения, загрязнение окружающей среды, конкуренция за ограниченные ресурсы, изменение климата и т. д. В связи с этим необходимо задуматься о более эффективном использовании

водных ресурсов не только для удовлетворения потребительского спроса, но и для поддержания устойчивости природных ресурсов. Развитие рыбоводства стало насущной необходимостью, поскольку оно открывает огромные возможности для инвестиций, необходимых для водных ресурсов [116, 169]. Тиляпии являются важным источником белка во многих развивающихся странах. Хотя они эндемичны для Африки, их ареал расширился благодаря интродукции во многие тропические и субтропические страны, включая Юго-Восточную Азию, Японию, азиатскую часть России, Индию, Восточную Европу, США и Латинскую Америку [202]. Тиляпии – одни из самых распространённых культивируемых рыб в мире, уступая по популярности только карпу. Разведение тиляпии существует с начала письменных свидетельств истории. Древние египтяне выращивали тиляпию в прудах для употребления в пищу более 2500 лет назад [193]. Тиляпии привлекают внимание аквакультуры благодаря быстрому росту, устойчивости к широкому диапазону условий окружающей среды (таких как температура, солёность и т.д.), устойчивости к стрессам и болезням [144, 165], способности к размножению в неволе и короткому периоду генерации [202], а также питанию на низких трофических уровнях и приему искусственных кормов сразу после рассасывания желточного мешка [106]. Несмотря на вышеперечисленные характеристики, информации о выращивании и содержании многих видов тиляпий, а также об их потребностях в питании при выращивании в воде с различной солёностью крайне мало. Несмотря на то, что тиляпии являются пресноводными рыбами, они могут переносить широкий диапазон солёности воды [79, 103, 104, 232, 233]. Однако влияние солёности воды на потребности этих рыб в питательных веществах изучено не до конца. Предполагается, что тиляпии произошли от морских предков, и их проникновение в пресную воду является вторичным [84, 182]. Это может объяснять выраженную эвригалинность некоторых видов тиляпий, где они могут переносить широкий диапазон солёности воды, демонстрируя различные результаты. Устойчивость тиляпии к солёности воды зависит от ряда факторов, таких как температура,

способ акклиматизации и возраст рыбы [216]. Устойчивость тилapia к солёности воды варьируется от пресноводной *O. macrochir* [78], до высокоустойчивой к солёности *O. mossambicus*, которая, как сообщается, выживает при акклиматизации до концентрации 120‰ [234]. Кроме того, продуктивность мальков *O. mossambicus* в солоноватой воде (8,9–15,2‰) была примерно в три раза выше, чем в пресной [225].

O. niloticus отличается быстрым ростом, высокой устойчивостью к болезням, высокой плодовитостью, круглогодичным вылуплением и заботой родителей, что делает этот вид всё более важным для разведения в мире [124].

В результате он был широко интродуцированный в другие страны, как в Африку, так и на другие континенты, включая десятки стран Азии, Европы, Северной Америки, Центральной Америки и Южной Америки [121]. Ожидалось, что мировое производство тилapia продолжит расти примерно на 3–4 процента в 2018 году, достигнув 6,3 миллиона тонн [111]. Тилapia произрастают в Северной и Западной Африке, на Ближнем Востоке, в Центральной и Южной Америке и в Индии, населяя разнообразные пресные и реже солоноватые водоёмы, от мелководных ручьёв и прудов до рек, озёр и эстуариев [226]. Тилapia это общее название группы циклид, эндемичных для Африки. Группа состоит из трёх важных родов: *Oreochromis*, *Sarotherodon* и *Coptodon* (Tilapia), каждый из которых включает множество видов, включая нильскую тилapiю *Oreochromis niloticus*, голубую тилapiю *O. aureus*, манговую тилapiю (*Sarotherodon galilaeus*) и краснобрюхую тилapiю *Coptodon zillii* [174]. *O. aureus* произрастает в тропической и субтропической Африке и на Ближнем Востоке и встречается в нескольких странах. Благодаря своей популярности в качестве промысловой рыбы, *O. aureus* был интродуцирован во многие страны за пределами своего естественного ареала для аквакультуры и контроля водной растительности. Он широко разводится по всему миру, и случаи побега или выпуска из аквакультуры хозяйств, зоопарков и аквариумов являются обычным явлением [84]. *O. aureus* может переносить широкий диапазон солёности до 20‰ и температуры воды до 8°C

[199]. Аквакультура — это деятельность человека по разведению водных организмов: рыб, растений и других гидробионтов. Её ведут в коммерческих целях или для поддержания рыбных запасов. Этот сектор стал одним из главных столпов сельскохозяйственной, промышленной и рыбохозяйственной экономики [34]. С начала 1990-х годов в России наблюдается значительный спад производства продукции животноводства, включая аквакультуру. К середине десятилетия производство сократилось до четверти от уровня конца 1980-х годов. Однако меры, принятые российскими властями, включая Министерство сельского хозяйства, способствовали стабилизации сектора и его постепенному восстановлению с 1999 года. По данным А.И. Ерёмкина (2015), в этот период стабилизации в секторе наблюдался ежегодный рост на 10–15%, что свидетельствует о значительном улучшении показателей [23].

Прогресс этого сектора зависит от ряда факторов, включая: использование местного и международного опыта в области аквакультуры, научно-технических достижений, внедрение современных технологий и единую государственную политику, поддерживающую сектор и повышающую его эффективность [34]. Среди законодательных актов, способствующих регулированию сектора, – Закон «О развитии сельского хозяйства» (2006 г.), Государственная программа развития рыбохозяйственного комплекса и Закон «Об аквакультуре». Для развития аквакультурного производства усилия направлены на обеспечение высококачественными кормами с использованием нетрадиционных компонентов и биологически активных добавок, совершенствование технологий, используемых в рыбоводческих хозяйствах, для увеличения продуктивности и снижения заболеваемости, улучшение ветеринарного обслуживания, а также разработку диагностических средств и профилактических препаратов [23]. Современные технологии также способствуют увеличению объемов производства и снижению затрат, делая аквакультуру жизнеспособной экономической деятельностью.

В России сектор аквакультуры управляется диверсифицированными компаниями, при этом 70% продукции производится дочерними предприятиями «Росрыбхоз», фермерскими хозяйствами и частными лицами. Коммерческая аквакультура подразделяется на три основных типа: прудовое хозяйство, промышленная аквакультура и пастбищное хозяйство [33]. Аквакультура является важным элементом обеспечения продовольственной безопасности, а тилапия остаётся одним из важнейших видов выращиваемых рыб благодаря своей производственной эффективности и способности удовлетворять потребности рынка [96, 115]. В этом контексте тилапия выделяется как один из важнейших видов выращиваемых рыб благодаря своим многочисленным преимуществам, которые делают её идеальным выбором для рыбоводческих хозяйств [74]. Тилапия обладает рядом характеристик, которые делают её краеугольным камнем местной аквакультуры. Среди них быстрый рост и высокая конверсия корма, что делает её экономически выгодной для фермеров. Тилапия также способна адаптироваться к различным условиям окружающей среды, включая высокие температуры и недостаток кислорода. Тилапия также пользуется высоким спросом на местных рынках благодаря своим отличным вкусовым качествам и доступной цене. Её можно выращивать в различных системах, таких как пруды, садки и интенсивные системы [63, 109]. Затраты корма у тилапии составляет 1,2–1,8, что делает её одним из самых экономичных видов для разведения (El-Sayed, 2019) [108]. Оптимальная температура роста тилапии составляет 22–32°C, а сама она выдерживает широкий диапазон солёности [178]. Продукты питания из рыб являются одним из важнейших элементов продовольственной безопасности и удовлетворения основных потребностей в питании человека, а потребление мяса рыбы является критерием различия между развитыми и бедными странами. Более 4,5 миллиарда людей в мире удовлетворяют более 15% своих потребностей в животном белке из мяса рыбы [152]. Мировой спрос на потребление рыбного мяса вырос в свете демографического взрыва, и ежегодная доля рыбного мяса на человека в мире

оценивается в 20 кг, поскольку за последнее десятилетие рыбный сектор вырос в среднем на 2,5% [115].

Аквакультурное производство является основной отраслью во многих странах, и оно будет продолжать расти по мере увеличения спроса на рыбную продукцию [178]. Хозяйственный уклад многих малых приморских общин опирается на аквакультуру. География этой опоры простирается от Гибралтара на юге — через Великобританию, Фарерские острова и Исландию — до Балтийского моря и границы с Россией на севере. Возможно, эта роль станет еще более важной в ближайшем будущем в связи с возросшим спросом на высококачественную рыбу [248]. Деятельность в производстве аквакультуры насчитывает много столетий, и ее происхождение насчитывает около 4000 лет [215]. Beveridge M. (2015) показал, что наземное сельское хозяйство было наиболее важным методом производства продуктов питания на Земле на протяжении тысячелетий. Аквакультура до сих пор вносит существенный вклад в производство продуктов питания и зависит от производства рыбы и моллюсков. Как и в случае наземного сельского хозяйства, развитие аквакультуры и использование систем интенсивного выращивания в замкнутых пространствах было обусловлено сочетанием факторов, включая растущую конкуренцию, с которой сталкивается этот сектор за доступные ресурсы [80]. Сектор садковой аквакультуры очень быстро растет за последние двадцать лет и в настоящее время претерпевает изменения в ответ на давление глобализации и растущий спрос на морепродукты как в развивающихся, так и в развитых странах [148]. Прогнозировали, что потребление рыбы в развивающихся странах вырастет на 57%. Речь идёт о росте с 62,7 млн метрических тонн в 1997 г. до 98,6 млн к 2020 г. [93]. Для развитых стран A. Tacon и M. Halwart (2007) давали куда более скромную оценку: около 4% — с 28,1 млн метрических тонн в 1997 г. до 29,2 млн к 2020 г. [219]. Производственные затраты и образование отходов в интенсивной аквакультуре зависят от кормления рыбы — так же, как и в традиционном животноводстве [81]. Практика заставляет учитывать нутриентные

потребности конкретного вида и покрывать их сбалансированными рационами при соответствующем режиме кормления. За два последних десятилетия исследования углубили наши представления о потребностях культивируемых рыб в питательных веществах [156]. На производство кормов в аквакультуре уходит 40–60% затрат. Дальнейшее удешевление кормления остаётся поэтому насущной задачей [147, 153].

Для обеспечения высокого качества продукции рыбной аквакультуры приоритет следует отдавать разработке технологий, позволяющих контролировать аминокислотный состав кормов в процессе производства с учетом потребностей конкретных видов рыб [152]. Современные исследования, как правило, дают возможность достаточно точно установить оптимальную добавку сырого протеина: превышение уровня, обеспечивающего максимальный рост рыбы, ведёт к экономическим потерям и ущербу для окружающей среды [138]. Оптимальная доля вводимого белка непостоянна. Ряд работ показывает, что она зависит от нескольких факторов, и в первую очередь — от вида рыбы, её возраста и физиологического состояния.

Успешное культивирование поэтому требует, чтобы белок поступал сбалансированно и непрерывно на протяжении всего цикла выращивания. На то, насколько полно рыба усваивает белок кормовой смеси, влияют также температура воды, присутствие загрязняющих веществ и патогенных микроорганизмов [173]. В последние годы исследователи всё чаще обращаются к аминокислотам с разветвлённой боковой цепью, оценивая их вклад в сбалансированность рационов разных видов рыб. Особым предметом изучения становится изолейцин. Его системные физиологические эффекты отражаются в повышении продуктивности рыб на разных этапах онтогенеза.

Для синтеза белка рыбам требуются двадцать аминокислот, но они могут синтезировать десять из них только тогда, когда они недоступны в кормовой смеси, в то время как нужно получить оставшиеся десять кислот из кормовой смеси. Отсутствие одной или нескольких из них приводит к снижению синтеза

белка, что в свою очередь приводит к потере массы, поэтому возникла необходимость в поиске сбалансированных кормовых смесей с высоким содержанием белка [155, 164, 242]. Сбалансированный корм должен содержать полный набор незаменимых аминокислот в правильных пропорциях. Это особенно важно в аквакультуре, где быстрый рост рыбы напрямую зависит от качества белка в корме [85].

1.4. Белковое питание рыб

Белок является основным компонентом роста тканей, также самым дорогим питательным веществом в животноводстве и, следовательно, имеют важнейшее значение для производства кормов для рыб [220]. Достаточное количество как традиционно классифицируемых незаменимых аминокислот (ЕАА), так и заменимых аминокислот (NEAA) в рационах улучшает рост, развитие и продуктивность водных животных (например, личиночный метаморфоз) [99]. Процессы использования пищевых белков животными включают переваривание, всасывание и метаболизм. Следует тщательно оценивать переваримость и биодоступность белков, поскольку процессы производства кормов и разложения белки в кишечнике влияют на количество пищевых аминокислот, поступающих в кровоток. Абсорбированные аминокислоты используются для синтеза белков, пептидов, жирных кислот и других метаболитов (включая нуклеотиды); биологического окисления и выработки АТФ [222]. Специалисты рыбоводы обычно обращают внимание на содержание или усвояемость диетического сырого протеина, не принимая во внимание наличие в рационе аминокислот. В экспериментах, включающих пищевые добавки с аминокислотами, в качестве изонитрогенного контроля часто используются замененные аминокислоты (например, глицин и глутамат). В настоящее время имеются ограниченные знания либо о клеточном и специфическом метаболизме аминокислот, либо о влиянии методов обработки кормов на переваривание и утилизацию аминокислот у различных видов рыб. Эти проблемы должны быть решены для разработки

экологически чистых аквакормов и снижения затрат на корма для поддержания глобальной аквакультуры [238]. По данным ряда исследований, кормовой белок во многом определяет рост и поведение рыб, а также затраты на их кормление [71]. Белок для рыб — не только пластический материал: значительная часть энергии покрывается за счёт его обмена. На потребность в белке влияет целый ряд условий — вид и размер рыбы, источник и качество протеина, а также содержание доступной энергии в готовом корме [140]. Известно, что рыбы в отличие от других животных могут синтезировать самостоятельно несколько аминокислот такую, как например глютаминовую кислоту. Без синтетических аминокислот в аквакультуре невозможно составить должным образом сбалансированный рацион [77].

Сбалансированное содержание аминокислот в кормовых смесях необходимо для достижения оптимального роста рыб. Аминокислоты и их метаболиты также играют важную роль в регуляции метаболических процессов, которые, в свою очередь, влияют на процессы потребления корма, поддержания жизнедеятельности, роста, метаболизма питательных веществ (усвоения питательных веществ), иммунитета и устойчивости к условиям окружающей среды и патогенам [150]. Проблема высокой стоимости проектов рыбоводства во многом обусловлена использованием неизученных пропорций некоторых дорогостоящих компонентов, особенно протеина. Составление любой кормовой смеси должно основываться на использовании определённых пропорций протеина для обеспечения максимальной продуктивности при минимальных затратах [224]. Исследования сообщили, что избыток белка в рационе по сравнению с небелковой энергией замедляет рост рыбы. Избыточное поступление белка с кормом ведёт к непроизводительным затратам энергии и усилению выделения азота. Как правило, крупным рыбам требуется меньше белка, а мелким — больше [155].

Высокое содержание протеина в кормовых смесях приводит к повышенному содержанию азота в среде культивирования (воде), что, в свою очередь, наносит ущерб окружающей среде и увеличивает стоимость. В свою

очередь, низкое содержание протеина в кормовых смесях (ниже оптимального для роста выращиваемых видов рыб) напрямую влияет на производственные показатели рыб, а также негативно сказывается на их здоровье и устойчивости к заболеваниям [142]. Потребности в белке у разных видов тилапии различаются в зависимости от стадии роста, системы выращивания и условий окружающей среды. В (таблице 1.4.1) представлены потребности в белке в зависимости от вида и стадии роста.

Таблица-1.4.1- Потребности видов тилапии в белке по видам и стадиям роста

Вид Тилапии	Стадия роста	Рекомендуемый процент белка (%)	Источник
Нильская тилапия (<i>O. niloticus</i>)	мальков (0,1–5 г)	35-45	El-Sayed (2022)
	Рост (5–50 г)	30-35	FAO (2021)
	Откорм (>50 г)	25-30	Ng & Romano (2013)
Мозамбикская тилапия (<i>O. mossambicus</i>)	мальков	40-45	Lim & Webster (2020)
	Откорм	28-32	FAO (2021)
Гибридная тилапия (<i>O. aureus</i> × <i>O. niloticus</i>)	Откорм	30-38	FAO (2021)

Для мальков используют корм, содержащий 40% белка с добавлением пробиотика для улучшения усвоения. Для откорма сокращают содержание белка до 28% и компенсируется дефицит синтетическими аминокислотами. Рыбы потребляют белок для получения заменимых и незаменимых аминокислот, которые необходимы для формирования мышц и работы ферментов, а часть белка используется для поддержания организма рыбы. Животный белок (рыбная мука) имеет более высокую биологическую ценность, чем растительный. Общее потребление белка можно снизить, если сбалансировать аминокислоты (такие как лизин и метионин) [102, 243].

Коммерческий комбикорм составляют с расчётом необходимого количества белка и аминокислот. Отсюда — требование выдерживать баланс небелковых источников энергии, углеводов и липидов.

Когда доступность белка оптимальна или близка к ней, его дополняют аминокислотами, чтобы обеспечить максимальный рост рыбы [122]. Обратная ситуация — недостаточное потребление белка — замедляет рост, снижает массу тела и заставляет организм мобилизовать белок из жизненно важных органов для поддержания их функций [178]. У большинства молодых рыб на фоне дефицита аминокислот развивается деформация скелета, что тормозит рост и в итоге приводит к гибели [171]. Метаболическая активность выше в тканях жабр, желудка и печени и ниже в белых мышцах, где, однако, и происходит основной прирост массы рыбы [68].

1.4.1. Роль белка в питании рыб и его источники в кормах

В ряде работ показано, что количественно основная доля белка откладывается именно в белых мышцах. У радужной форели около 76% синтезируемого в них белка идёт на прирост массы, тогда как на жабры приходится лишь 4% [106, 138]. В ряде исследований продемонстрировано, что существует прямая зависимость между скоростью синтеза и распада белка. В случае голода рыбы медленнее используют красные мышцы из-за их важной функциональной роли в процессе плавания, в то время как белки белых мышц быстро разрушаются и используются для самостоятельного питания. Организм защищает белки жизненно важных органов, особенно нервной ткани и сердце. Недостаток незаменимых аминокислот в рационе приводит к увеличению потребления белка, что значительно увеличивает затраты на корм [205]. Потребность в белке непостоянна: она зависит от возраста и стадии роста, развития рыбы, а также от условий среды — температуры, содержания кислорода, гидрохимического режима и состояния здоровья. Личинки растут интенсивнее взрослых особей, поэтому и доля белка в их корме должна быть выше [166]. Для мальков (сеголеток) всех видов рыб оптимальный уровень протеина в сухом веществе комбикорма лежит в диапазоне 45–55% [143]. В таблице 1.4.1.1. приведены рекомендуемые значения содержания белка в корме для рыб на разных этапах роста [110, 131].

Таблица -1.4.1.1. - Содержание белка в корме для рыб в зависимости от возраста и условий содержания

Стадия развития	Рекомендуемый % белка
Личинки (начальный рост)	50-60
Мальки (активный рост)	40-50
Молодь (подростковая стадия)	35-45
Взрослые рыбы	25-35

Понимание потребности рыбы в белке в период роста является основополагающим в управлении рыбоводством, что приводит к максимальной эффективности преобразования корма, экономии затрат и снижению нагрузки за счет выбросов азота и фосфора в водную экосистему [153]. При оценке пищевых потребностей новых объектов аквакультуры кормовой белок обычно выходит на первый план. По данным разных исследований, его доля в рационе варьирует от 24 до 70% — разброс определяется видом рыбы и периодом её жизни. Потребность в кормовом белке растёт с повышением трофического уровня рыбы и солёности воды, тогда как более высокая температура выращивания её снижает [220]. С другой стороны, дефицит протеина в кормовом компоненте, его разбалансированность или низкое качество оборачиваются ухудшением качества продукции и падением продуктивности [59, 217].

1.4.2. Источники белка животного происхождения

В кормлении рыб используют белковые источники животного, растительного и микробиального происхождения [134]. Ведущая роль среди них принадлежит кормам животного происхождения — они служат основным поставщиком полноценного белка и витаминов, отличаются высокой усвояемостью аминокислот и богатым минеральным составом. Сюда относят продукты рыболовной промышленности (рыбная мука, мука из ракообразных

и моллюсков, рыбные полуфабрикаты), комбикорма из отходов переработки сельскохозяйственных животных (мясокостная, мясная, кровяная, костная, перьевая мука), корма из переработки молока (сухое обезжиренное молоко, пахта, сыворотка, концентрат молочного белка), а также продукты переработки живых организмов, например куколки тутового шелкопряда. Рыбную муку получают из рыбных отходов; она богата белками и незаменимыми аминокислотами, микроэлементами и витаминами группы В. В зависимости от качества содержание белка в ней колеблется от 48 до 70%, сырого жира — от 10 до 30% [44]. Стоимость данного корма растет, и это побуждает к поиску новых видов кормового сырья, которые могут в максимальной степени заменить данный корм. По имеющимся данным, мука из криля и кальмаров содержит 58–62% сырого белка. В отличие от рыбной муки, она богата каротиноидами — главным образом астаксантином, придающим мясу розовый оттенок. Наиболее полным набором незаменимых аминокислот характеризуется белок рыбной и крилевой муки. Лизин, метионин, триптофан, аргинин и валин присутствуют в нём в заметных количествах [101].

Мясная мука — высококачественный белковый корм, который готовят из внутренностей животных и прочих мясных отходов; доля костей в ней не должна превышать 10%. В таком продукте 50–60% белка и не более 12% жира. Цвет варьирует от желтовато-серого до коричневого. Для кормления рыб годится только мясокостная мука первого сорта — с содержанием белка не менее 50% и жира не более 12%.

Рецепт и технологический регламент производства экструдированного белково-липидного корма РПК (беликор) разработала группа исследователей из Всероссийского научно-исследовательского института пресноводного рыбного хозяйства [3, 200] при участии ООО НПЦ «Агроресурсы» и ООО «Триекстра». За основу взяли отходы переработки рыбной продукции и сухие стандартные компоненты животного, растительного и микробного происхождения. Смешивание рыбных отходов с сухим мучнистым кормом

даёт кормовую смесь влажностью 20–30%; её экструдировать при 100–120 °C и высоком давлении [6].

1.4.3. Источники белка растительного происхождения

В связи с высоким спросом, дефицитом и высокими ценами на корма возникает необходимость замены молочных кормов другими доступными и более дешевыми источниками белка животного или растительного происхождения. Растительные источники белка широко доступны, но замена молочных кормов ими ограничена для некоторых видов водных животных. Основная проблема, связанная с более высоким использованием растительных источников белка, – это несбалансированный аминокислотный состав, низкая усвояемость аминокислот, повышенное содержание клетчатки, наличие антипитательных факторов и низкая доступность фосфора (Uran et al., 2008) [227]. В разных работах показано, что источники растительного происхождения считаются одной из возможных альтернатив, которые можно использовать в кормах для рыб без ухудшения питательных качеств кормов. Более того, использование более дешевых и доступных на местном уровне растительных источников для замены дорогой рыбной муки означало бы снижение производственных затрат и, тем самым, увеличение прибыли. При выборе компонентов корма для рыбы и рецептуры корма основным соображением является его усвояемость, вкусовые качества и приемлемость для рыб, доступность и стоимость ингредиентов. Включение растительных источников в корм для рыб обычно имеет свои ограничения из-за низкого содержания белка, наличия антипитательных факторов, таких как алкалоиды, гликозиды, щавелевая кислота, фитаты, ингибиторы протеаз, гемагглютинин, сапонин, мимозин, цианогликозиды и др [100]. Растительные корма делят на низкобелковые — до 20% белка — и высокобелковые, где этот порог превышен. В первой группе белка 8–20%, жира 2–6%; крахмал приходится 50–85%. В эту фракцию входят измельчённое зерно пшеницы, ячменя, ржи, овса, кукурузы, продукты их переработки в виде мучной пыли, реже — травяная, хвойная и водорослевая мука [187].

Пшеница — один из самых распространённых питательных злаков. Карп усваивает её белок на 80–85%, доступность аминокислот достигает 90% [3]. Белка в зерне 13–16%, однако лизина мало. Ячмень по питательности близок к пшенице, но уступает ей по составу аминокислот: 11–12% белка при дефиците лизина и метионина. В комбикормах для карпа и некоторых других рыб ячмень заменяет пшеницу. Кукуруза богата крахмалом, но бедна белком — около 8% — и содержит недостаточно лизина и триптофана. Зато она хорошо поддаётся экструзии и вспениванию, что делает её незаменимой при производстве плавающих и медленно оседающих экструдатов. Корма с высокой долей кукурузы хранятся плохо и быстро плесневеют [230, 47].

К высокобелковым растительным кормам относят семена бобовых, жмыхи и шроты. В семенах бобовых 25–30% белка — в 2–3 раза больше, чем в злаках. Их применение в кормлении рыб ограничивают ингибиторы пищеварительных ферментов; этот эффект снимают термической обработкой семян до введения в кормовую композицию [218]. Арахисовый жмых — это один из самых важных белковых ингредиентов с содержанием белка 40% и жира 7% соответственно. Он обладает приятным вкусом, очень приятен на вкус и обладает лучшими связующими свойствами, чем соевый шрот, однако в нем не хватает определенных незаменимых аминокислот, таких как метионин и лизин. Содержание белка в подсолнечном шроте колеблется от 28 до 42%: нижний предел отвечает шроту из неочищенных семян, верхний — из очищенных [139]. Для совершенствования комбикормов форели и осетровых интересны высокобелковые растительные продукты — кукурузный и пшеничный глютен с 60–70% протеина. Усвояемость выше 90% позволяет частично замещать ими рыбную муку. При этом приходится контролировать набор незаменимых аминокислот, чтобы покрыть физиологическую потребность рыб. Перспективно и использование инактивированных полножирных соевых бобов: соевый шрот уступает им по энергетической ценности. Горох и гороховый белок — продукт его переработки — не исключение. Временная замена рыбной муки гороховым белком не снижает

эффективность выращивания; добавление его в корм осетра улучшает качество икры для рыбоводства [163]. Рапсовые продукты в кормлении рыб применяют мало, хотя белки этой культуры обладают высокой биологической ценностью. Лизина в них на 8–10% меньше, чем, например, в соевом шроте, зато метионина и других серосодержащих аминокислот — цистина и цистеиновой кислоты — почти вдвое больше. Для рыб это ценное свойство: метионина не хватает в основных видах растительного сырья, поэтому рапс желателен как компонент корма [241].

1.4.4. Источники белка побочных и альтернативных продуктов

Высокие цены традиционных кормовых компонентов и чрезмерная эксплуатация природных ресурсов являются одними из самых серьезных препятствий для производства аквакультуры. Для преодоления этого используются различные подходы и техники, среди которых использование нетрадиционных кормовых ингредиентов в секторе аквакультуры является самым современным подходом. Различные нетрадиционные кормовые компоненты, такие как растительные продукты, водоросли (как микро-, так и макроводоросли), одноклеточный белок (бактерии и дрожжи) и мука из насекомых, в настоящее время используются в аквакультуре для устойчивого производства продуктов питания. Среди всех этих новых компонентов насекомые обладают большим потенциалом для замены рыбной муки.

Насекомые – это живые существа, которые могут жить на органических отходах [130]. В ряде работ показано, что насекомые могут стать реальной альтернативой рыбной муке в ближайшем будущем, поскольку они являются хорошим источником макромолекул и микромолекул [75, 91, 126, 195]. Замена рыбной муки мукой из насекомых уникальная концепция в аквакультуре. Однако в практике аквакультуры в настоящее время используется широкий спектр видов насекомых. К этой категории насекомых относятся личинки (*Musca domestica*), черные мухи-солдатики (*Hermetia illucens*), куколки тутового шелкопряда (*Bombyx mori*), кузнечики и мучные

черви (*Tenebrio molitor*). Был отмечен значительный эффект на показатели роста рыбы, когда рыб кормили мукой на основе насекомых [223]. Показано, что, когда водных животных кормили *Tenebrio molitor* и полножирным кукольным шелкопрядом *Bombyx mori*, у них наблюдалось существенное увеличение удельной скорости роста (SGR) при снижении кормового коэффициента (FCR). Показатели роста водных животных, которых кормят насекомыми, варьируются в зависимости от стадии развития и вида как насекомых, так и водных животных. Во многих исследованиях задокументировано, что при замене рыбной муки более чем на 30% мукой из насекомых наблюдается негативное влияние на показатели роста [137, 160].

Белковая составляющая рациона насекомых колеблется в пределах 50-82% (в пересчете на сухое вещество), что сопоставимо с рыбной мукой в пределах 60-72% по массе. Пища насекомых богата незаменимыми аминокислотами, но у разных видов наблюдаются незначительные различия в зависимости от их рациона. Гидроксипролин и таурин являются уникальными компонентами насекомых, отсутствующими в растительных компонентах, но присутствующими в рыбной муке [132].

Также с развитием технологий применение дрожжей в аквакультуре становится очень популярным, особенно в качестве альтернативного источника белков в дополнение к другим белкам, обычно используемым в кормовой промышленности для рыбы [168]. Дрожжевые клетки содержат значительное количество белка (приблизительно 40-55%) и других биологически активных соединений, которые необходимы для развития и роста разных видов рыбы [65, 228]. Результаты показали, что кормление рыбы различными уровнями сухих дрожжей оказывает значительное влияние на массу тела рыбы, о чем свидетельствует увеличение роста на 20% при включении пищевых дрожжей при замене рыбной муки до 40% [194]. Бактерии и дрожжи обладают наибольшим потенциалом для замены рыбной муки из-за их высокой питательной ценности. Бактерии и дрожжи имеют хорошие показатели аминокислотного сора, сравнимые с рыбной мукой, а

содержание белка колеблется в пределах 50-80% и 45-55% соответственно. Они также обладают большим потенциалом для использования в качестве сырья и функциональных кормовых добавок [138]. Микроводоросли обладают хорошими питательными свойствами, которые стали хорошими кандидатами для использования в аквакультуре [191, 247]. Водоросли могут способствовать росту, стимулировать иммунную систему и улучшать окраску рыбы [175].

Yadav, G и др. (2020) провели исследование, чтобы оценить влияние сушеных видов хлореллы на выживаемость и рост карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*). Рыба, которую кормили биомассой микроводорослей, показала значительное улучшение прироста массы, снижение FCR и коэффициента полезного действия белка [240]. Анализ соотношения затрат и выгод показал значительное снижение стоимости готовых кормов по сравнению с коммерческими кормами, что может повысить рентабельность рыбоводческих хозяйств. Это исследование подчеркивает важность водорослей как нового нетрадиционного кормового компонента.

1.5. Аминокислотное питание рыб

Аминокислоты нередко оказываются самой дорогостоящей составляющей рациона рыб [184]. Создать экономичный корм, полностью покрывающий потребность в незаменимых аминокислотах, непросто [150]: высококачественные белки, способные решить эту задачу, обычно ограничены по цене [109, 245]. Оптимальный рацион должен обеспечивать сбалансированное поступление незаменимых (EAA) и заменимых (DAA) аминокислот.

К незаменимым относят аргинин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, валин, метионин, фенилаланин, треонин и триптофан — всего десять. Они либо не синтезируются в организме, либо образуются в недостаточном количестве и потому должны поступать с кормом. Заменимые — аланин, аспарагин, аспартат, глутамат, глицин, серин — эффективно синтезируются из аминокислотных источников и предшественника α -кетокислоты; вводить их с

кормом не требуется, хотя молекулы, необходимые для их синтеза, всё же должны быть обеспечены. Отдельно выделяют условно незаменимые: цистеин, глутамин, гидроксипролин, пролин, таурин и тирозин [198]. В следующей таблице представлен структурированный обзор оптимальных потребностей в аминокислотах в питании рыб, включая классификацию незаменимых аминокислот (ЕАА) [70, 159]. Ценность белковых источников для рыб оценивают по содержанию незаменимых аминокислот и их сбалансированности. Именно соотношение этих аминокислот определяет, насколько полно организм использует поступивший белок.

Таблица – 1.5.1.- Оптимальный состав незаменимых аминокислот (ЕАА) в корме для тилapia [53, 161].

Аминокислота	% Пищевого белка	В рационе (для 30% протеинового корма), %
Аргинин	4,2- 5,5	1,26-1,65
Гистидин	1,5-2,0	0,45-0,60
Изолейцин	2,5-3,5	0,75-1,05
Лейцин	3,3-4,5	0,99-1,35
Валин	2,8-3,8	0,84-1,14
Метионин	2,0-3,0 (мет + цист: 3,0 - 4,0)	0,60-0,90 (мет + цист: 0,90 - 1,20)
Лизин	5,0-6,5	1,50-1,95
Фенилаланин	3,0-4,0 (фенила + тироз: 5,0 - 6,0)	0,90-1,20 (фенила + тироз: 1,50 - 1,80)
Треонин	2,5-3,5	0,75-1,05
Триптофан	0,5-1,0	0,15-0,30

В результате разные методы оценки белка дают неодинаковые результаты в отношении кормовой ценности. Несколько недавних отчётов содержат утверждение: мерилom качества белка в пищевых продуктах должна быть потребность в незаменимых аминокислотах, а не их валовое содержание. Акцент в этих работах сделан на сходстве аминокислотных профилей тканей всего тела данного вида рыб с профилем его кормовых потребностей [239].

1.5.1. Потребность рыбы в аминокислотах с разветвленными боковыми цепями (лейцине, изолейцине и валине)

Аминокислоты с разветвлённой боковой цепью (BCAA) — протеиногенные аминокислоты, боковая цепь которых имеет разветвлённое алифатическое строение. На их долю приходится 14% всех аминокислот, входящих в состав белка скелетных мышц животных. и отличается от других незаменимых аминокислот тем, что они окисляются в первую очередь в скелетных мышцах ферментным комплексом дегидрогеназы ВСАА [158, 167], тогда как все остальные аминокислоты расщепляются в печени. ВСАА (валин, изолейцин, лейцин) являются незаменимыми аминокислотами и играют очень важную роль в некоторых биохимических реакциях. Они участвуют в синтезе белка, синтезе аминовых нейротрансмиттеров, выработке энергии и в превращениях глутамата — значит, поступать в организм должны вместе с кормом [67, 88, 120].

1.5.2. Потребность рыбы в изолейцине

Изолейцин (Ile), аминокислота с разветвлённой боковой цепью, нужен всем исследованным видам рыб. В организме он преимущественно входит в состав белков, прежде всего скелетных мышц. Мировое производство этой аминокислоты достигает примерно 400 тонн в год. Получают её либо экстракцией из белковых гидролизатов, либо ферментацией с участием *Serratia marcescens* или *Corynebacterium glutamicum*. Синтез L-изолейцина имеет общие реакции с синтезом L-лизина и L-метионина, (ii) L-треонин является промежуточным продуктом, и (iii) последние четыре фермента также обнаруживают реакции, участвующие в синтезе валина, лейцина и пантотената [135, 204]. В мышечной ткани отдельных видов рыб на изолейцин приходится почти 4,2% общего белка. Согласно другой работе, эта аминокислота избирательно включается в белки иммунных клеток — лимфоцитов, эозинофилов и нейтрофилов [123]. Изолейцин у рыб участвует в поддержании иммунитета, обеспечивая развитие иммунных органов и клеток

и стимулируя секрецию биологически активных соединений. Эта же аминокислота участвует в синтезе белка и энергетическом обмене скелетных мышц [128]. В таблице 1.5.2.1 приведены нормы потребления изолейцина для разных видов рыб (% от сухого корма или граммы/100 граммов белка) [20, 35, 43]. Изолейцин был значительно низок во всех рационах животных. Согласно Khan A. и Abidi S. (2007) определение потребности в незаменимых аминокислотах, помимо метионина, лизина и треонина, в основном важно для рационов с низким содержанием белка и тех, которые разработаны на основе растительных компонентов.

Таблице 1.5.2.1. - Оптимальное содержание изолейцина в рационе рыб разных видов

Вид рыбы	Оптимальный уровень изолейцина	Источник
Лосось (атлантический)	2,0–2,5 от корма (~5–6 г/100 г белка)	NRC (2011)
Форель радужная	1,8–2,2 от корма (~4,5–5,5 г/100 г белка)	FAO (2020)
Карп	1,5–1,8 от корма (~4,0–4,8 г/100 г белка)	НИИПРХ (1978)
Тиляпия	1,6–2,0 от корма (~4,2–5,2 г/100 г белка)	NRC (2011)
Осетр (сибирский)	1,7–2,1 от корма (~4,5–5,5 г/100 г белка)	ВНИРО (2008)

У животных антагонизм между аминокислотами с разветвлённой боковой цепью возникает при избытке лейцина относительно изолейцина и валина. Объясняется это общностью ферментов: первые две стадии метаболического распада всех трёх аминокислот катализируют одни и те же ферменты [151].

Качество мышечной ткани у рыб во многом зависит от питания. Аминокислоты — не исключение. Изолейцин (Ile), аминокислота с разветвлённой боковой цепью, служит не только строительным блоком белка, но и значимым компонентом аквакормов: от него зависят рост и качество мускулатуры. Несколько исследований показывают, что кормовой изолейцин улучшает качество мышечной ткани. Это связывают с ростом содержания питательных веществ, изменением физико-химических показателей и

параметров текстуры, а также с усилением антиоксидантной способности организма рыб. Рост мышц аминокислота поддерживает через гиперплазию и гипертрофию миоцитов и увеличивает отложение мышечного белка; это связано с сигнальными путями его синтеза и деградации. Параллельно улучшается функция слизистой оболочки кишечника и физического барьера у рыб [119, 141]. У многих рыб качество мяса ухудшается по мере усиления окислительного стресса. Ткани повреждает главным образом избыток активных форм кислорода (АФК), тогда как антиоксидантная система обычно их обезвреживает. Добавление изолейцина в корма, как показано, может улучшать функцию кишечника — через рост антиоксидантной способности и сигнальный путь с участием Kelch-подобного ECH-ассоциированного белка 1 (Keap1) и ядерного фактора, связанного с эритроидным фактором 2 (Nrf2), у гибридных багридных сомов. Однако остаётся неясным, способен ли кормовой изолейцин улучшать качество мяса, регулируя сигнальный путь Keap1–Nrf2 у гибридных багридных сомов [123].

Потребность в белке на разной стадии роста у разных рыб, где отмечено, что у мальков потребность выше, чем у сеголеток на 5-7% [106]. Wilson, R. (2003) определил влияние кормового изолейцина на бессывороточный изолейцин, лейцин и валин у канального сома. Несмотря на то, что уровень изолейцина в сыворотке несколько увеличивался при увеличении потребления изолейцина, эти данные не подтверждали потребность, определенную на основании данных о росте. Концентрации лейцина и валина в сыворотке оказались параллельными концентрациям изолейцина в сыворотке. Относительно высокая смертность наблюдалась у рыб, получавших диету с дефицитом изолейцина [203]. Wang L. et al. (2017) показали, что кормовые лейцин и изолейцин совместно влияют на ростовые показатели азиатского паралихта — конечную массу тела, прирост массы и удельную скорость роста — а также на гепатосоматический индекс. Однако ни одна из этих аминокислот по отдельности не оказалась значимым фактором, определяющим рост. В группах с низким содержанием лейцина (2,58%)

стимуляция ростовых показателей, по-видимому, обеспечивается изолейцином. В рационе с высоким содержанием лейцина (5,08%) добавление кормового изолейцина дало обратный эффект. Иначе говоря, лейцин в концентрации около 5% выступает антагонистом изолейцина у японской камбалы. Вероятно, это связано с избытком лейцина, который нарушает баланс аминокислот с разветвлённой боковой цепью. Согласно ростовым данным, рыбы из группы с низким содержанием лейцина (2,58%) при избытке изолейцина в рационе (4,44%) демонстрировали высокие показатели роста. В то же время высокие темпы роста отмечены и в группе с высоким лейцином (5,08%), получавшей корм с низким изолейцином (1,44%) [231]. У мальков *Channa punctata*, получавших корм с возрастающими концентрациями изолейцина, ростовые показатели заметно улучшались вплоть до уровня 16 г/кг; при дальнейшем увеличении концентрации наметилась тенденция к снижению. Ускорение роста объяснялось главным образом более эффективным использованием корма, что выражалось в улучшении коэффициента конверсии корма и повышении коэффициента эффективности протеина у рыб, получавших оптимальный уровень изолейцина [118]. У азиатского паралихта введение кристаллического изолейцина в рационы, дефицитные по этой аминокислоте, заметно стимулировало рост рыб и повышало эффективность использования корма [73]. В этом и ряде других исследований превышение уровня изолейцина в рационе сопровождалось падением ростовых показателей. Причиной, вероятно, служит избыточное поступление аминокислоты: энергия расходуется на дезаминирование, ухудшаются вкусовые свойства корма, накапливаются и окисляются кетоны и другие токсичные метаболиты [92]. В исследовании Sharf Y. et al. (2020) содержание белка в туше росло вместе с дозой изолейцина в рационе и стабилизировалось при оптимальном уровне 16 г/кг. Содержание жира у змееголовых при этом непрерывно увеличивалось по мере повышения уровня изолейцина [211]. Гематологические показатели — гемоглобин, гематокрит и число эритроцитов — в одном из исследований устойчиво улучшались по мере

увеличения количества изолейцина. Это свидетельствует о значении изолейцина для поддержания здоровья *C. punctatus* [231]. В исследовании Ahmed I. и Khan M. (2006) оценивали потребности малька *Cirrhinus mrigala* в аминокислотах с разветвлённой цепью — валине, изолейцине и лейцине. Максимальная прибавка массы тела (312%), лучший коэффициент конверсии корма (FCR; 1,45) и лучший коэффициент эффективности белка (PER; 1,72) достигнуты у рыб, получавших 15,0 г валина на кг рациона. При 12,5 г изолейцина на кг зарегистрированы самый высокий прирост массы (317%), лучший FCR (1,47) и лучший PER (1,70). В эксперименте с лейцином наибольший прирост (308%), лучший FCR (1,46) и PER (1,71) отмечены при 15,0 г лейцина на кг. Низкое содержание влаги в организме и повышенное содержание белка наблюдали у рыб, получавших 1,5, 12,5 и 15,0 г валина, изолейцина и лейцина на кг соответственно. С увеличением уровня аминокислот с разветвлённой цепью количество жира в организме возрастало [67]. Высокобелковые корма повышают содержание всех аминокислот в мясе африканского сома. В мышцах подопытных рыб содержание белка и жира более чем вдвое превышало соответствующие значения у особей на низкобелковом обезжиренном рационе.

Мясо африканского сома богато двумя аминокислотами – лейцином и лизином. На высокобелковом рационе лимитирующими становятся триптофан и метионин. Низкобелковую диету, в свою очередь, дополняют изолейцином [210]. Влияние разных уровней белка в рационе на репродуктивную функцию *Channa striatus* исследовано в отдельной работе. Рост, гонадосоматический индекс (GSI) и абсолютная плодовитость повышались по мере увеличения доли протеина в корме. Наибольшее содержание протеина и липидов в яичниках зарегистрировано у рыб, получавших 450 г/кг белка. В этой же группе отмечены максимальный процент зрелых ооцитов, диаметр яиц, скорость выклева и длина личинок. Аминокислотные профили мышечной ткани во всех вариантах кормления существенно не различались. В печени, напротив, содержание изолейцина, лейцина, фенилаланина и тирозина было

значительно выше у рыб, получавших 450 г/кг белка [125]. В исследовании использования злаковых отходов с растворимыми веществами (DDGS) в сочетании с концентратом соевого белка (SPC) с комплексом незаменимых аминокислот (ЕАА) и без него в качестве альтернативы белку в рационах молоди желтого окуня *Perca flavescens*. Рационы, обогащенные незаменимыми аминокислотами, давали больший прирост массы рыбы, получавшие любой из рационов с ЕАА, продемонстрировали не менее 140% прироста массы, а также повысило конверсию корма и очевидную усвояемость белка [229].

1.5.3. Роль аминокислот с разветвленными боковыми цепями в метаболизме рыб

Как наиболее гидрофобные аминокислоты, ВСАА участвуют в регуляции ряда ключевых сигнальных путей. Лейцин необходим для активации мишени рапамицина млекопитающих (mTOR), тогда как изолейцин и валин в большей мере задействованы в энергетическом и глюкозном обмене [183]. У животных и изолейцин, и лейцин препятствовали росту концентрации глюкозы в плазме; при этом изолейцин действовал сильнее остальных ВСАА.

Согласно большинству работ, изолейцин участвует в захвате глюкозы плазмой у крыс. Механизм, посредством которого изолейцин и лейцин регулируют уровень глюкозы в сыворотке, предположительно связан с усилением поглощения глюкозы мышцами, её окислением в организме и подавлением печёночного глюконеогенеза [90]. На ранних этапах жизни рыбам, судя по новым данным, требуется несколько больше ВСАА, чем впоследствии. Потребность в аминокислотах с разветвлённой цепью у разных видов варьирует в широких пределах: лейцина — от 11,5 до 91,0 г на кг пищевого белка, изолейцина — от 15,4 до 42,3 г на кг пищевого белка, валина — от 17,7 до 46,91 г на 1 кг кормового белка [56, 240]. Дефицит или избыток ВСАА способен негативно сказаться на метаболизме — как на синтезе белка, так и на энергетическом обмене. С лейцином картина сложнее:

его избыточное добавление может, напротив, подавлять синтез белка. Повышенное поступление лейцина с кормом активирует дегидрогеназу α -кетокислот с разветвлённой цепью, что усиливает катаболизм всех ВСАА — даже при недостатке в рационе изолейцина и валина — и снижает их доступность для синтеза белка. Кроме того, при повышении уровня изолейцина содержание мРНК mTOR в кишечнике и гепатопанкреасе росло лишь до определённого момента, после чего наступало снижение; уровни мРНК 4E-BP в гепатопанкреасе, напротив, падали по мере увеличения содержания изолейцина в корме вплоть до некоторой точки [87].

Изолейцин выступает как питательный регулятор метаболизма глюкозы. Ahmad I. et al. (2021) сообщили, что физиологическая потребность в этой аминокислоте составляет 15,2–15,9 г/кг кормового белка. У *C. catla* она оказалась выше: 11,3–11,8 г/кг сухого корма, что соответствует 34,2–35,8 г/кг кормового белка [66]. У рыб метаболизм аминокислот с разветвлённой цепью протекает сходно с млекопитающими: основными органами, где он осуществляется, выступают кишечник, печень, почки и скелетные мышцы. Непосредственно в печени ВСАА не расщепляются — большая их часть становится доступной для метаболизма в скелетных мышцах и других тканях. Печень, однако, способна окислять ВСАА после их превращения в α -кетокислоты в других тканях (рисунок 1.5.3.1.). Все три ВСАА используют общие механизмы кишечного транспорта и одну и ту же ферментную систему катаболизма. Поэтому несбалансированные уровни одной из них способны вызывать антагонизм — это показано на свиньях, крысах и человеке [51, 52]. Сходным образом у рыб дефицит или избыток одной из ВСАА может нарушать их всасывание в кишечнике, менять суммарную концентрацию ВСАА в плазме и в итоге снижать ростовые показатели [162].



Рисунок 1.5.3.1. – Путь катаболизма аминокислот с разветвленной цепью

Первую стадию катаболизма лейцина, изолейцина и валина катализирует аминотрансфераза. Аминогруппа при этом переносится на α-кетоглутарат или на соответствующую α-кетокислоту с разветвлённой цепью. Синтезируя глутамат, фермент тем самым способствует окислительному дезаминированию ВСАА глутаматдегидрогеназой. Часть кетокислот, образовавшихся в ходе трансаминирования, может покидать клетки почек и с кровотоком попадать в другие ткани [133, 52].

1.6. Особенности использования модели идеального протеина в кормлении рыб

Идеальным принято называть протеин, аминокислотный состав которого точно соответствует запросам организма — тем, что определяют продуктивность и максимальный рост (размер, масса туши, выход и состав тела). Корма, построенные на принципе идеального белка, позволяют снизить общую долю протеина в рационе, не отступая от потребностей рыб в аминокислотах. Максимально эффективное использование белка и минимизация его количества в кормах способны заметно снизить

производственные затраты, поднять рентабельность фермы и уменьшить вылов дикой рыбы, идущей на приготовление рыбной муки. Выбросы азота, связанные с выращиванием рыбы, тоже удаётся сократить, если применить концепцию идеального белка к рецептурам рыбных кормов — так же, как её уже успешно применяют для птицы и свиней. У рыбы нет особой потребности в белке, а скорее определенная потребность в незаменимых аминокислотах, входящих в состав белков. Другими словами, рыбе необходимы незаменимые аминокислоты в пищевом белке, а не белок как таковой. Когда белок переваривается, входящие в его состав аминокислоты высвобождаются и всасываются организмом либо в виде отдельных аминокислот, либо в виде более коротких цепочек аминокислот, ди- и трипептидов [237].

Если бы белок корма содержал ровно столько каждой незаменимой аминокислоты, сколько необходимо конкретному виду рыб — прежде всего для отложения мышечной ткани, — такой белок теоретически можно было бы считать идеальным. При использовании такого идеального белка ни дефицита, ни избытка аминокислот не возникает. Любые изменения аминокислотного состава корма вносят так, чтобы относительное соотношение аминокислот сохранялось. Иначе говоря, концепция идеального белка исходит из того, что аминокислоты требуются организму и поступают в определённых пропорциях друг к другу. При таком рационе растущая рыба расходовала бы на энергетические нужды лишь незначительную часть аминокислот — если вообще их расходовала [186]. Аминокислоты при этом эффективно направляются на поддержание здоровья и синтез новых структурных белков. (например, нежирного филе), что приведет к максимальной эффективности корма и росту. Концепция идеального белка в рецептуре корма требует, чтобы потребности рыбы в незаменимых аминокислотах удовлетворялись с использованием легкоусвояемых аминокислот, а не общего количества аминокислот, поскольку рыба, как и другие животные, не на 100% эффективно использует то, что они потребляют. Концепция “идеального белка”, появившаяся в 1950-х и 1980-х годах для рационов домашней птицы и свиней,

соответственно, и основные концептуальные недостатки давней концепции “идеального белка” в питании животных, основанной на последних достижениях в области метаболизма аминокислот и их функций. Диетологам следует выйти за рамки концепции “идеального белка” и рассмотреть оптимальные соотношения и количества всех протеиногенных аминокислот в продуктах животного происхождения.

2. МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Характеристика объектов и условия проведения исследований

Экспериментальная часть работы выполнена на базе двух кафедр: кормления животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и водных биоресурсов и аквакультуры Волгоградского государственного аграрного университета (ФГБОУ ВО «ВолГАУ») [53].

Первый эксперимент провели в 2024 г. на кафедре рыбоводства Волгоградского государственного аграрного университета. В нём использовали 160 сеголетков *O. niloticus* средней массой тела $12,0 \pm 0,63$ г и длиной $9,0 \pm 0,37$ см. Рыбу распределили по четырём группам с равным числом особей. Массу рыб контролировали с момента зарыбления аквариумов. Выращивание вели в прямоугольных стеклянных аквариумах объёмом 100 литров, заполненных дехлорированной водой. Суточную норму кормления устанавливали в зависимости от массы тела рыбы и температуры воды, руководствуясь технологией выращивания. Кормили рыб вручную, четырёхкратно в течение дня [44, 94, 50]. Продолжительность эксперимента составила 21 сутки. Схема основных параметров опыта приведена в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1. – Схема основных параметров первого научно-хозяйственного опыта

Группа	Объем воды, л	Период исследований, сут.	Начальная масса молоди, г	Способ кормления
1: К.	100	21	12	Вручную
2 Оп.	100	21	12	Вручную
3 Оп.	100	21	12	Вручную
4 Оп.	100	21	12	Вручную

Второй эксперимент выполнили на кафедре кормления животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В нём было задействовано 224 особи *O. niloticus* [50].

Перед началом опыта рыбу две недели акклиматизировали. Сформировали семь групп, выровненных по численности; массу рыб контролировали с момента зарыбления аквариумов. Содержали рыб в прямоугольных стеклянных аквариумах объёмом 100 л с водопроводной водой (рисунок 2.1.1.). Суточную норму кормления рассчитывали по массе тела рыбы и температуре воды, следуя принятой технологии выращивания [50].



Рисунок 2.1.1. Экспериментальные аквариумы с тилляпией.



Рисунок 2.1.2. Оксиметр AR8406.

На протяжении всего исследования условия окружающей среды поддерживали на постоянном уровне, включая температуру и концентрацию растворенного кислорода в воде, чтобы гарантировать, что на результаты не повлияют никакие внешние факторы, и обеспечить стабильную среду, позволяющую точно контролировать влияние изучаемых переменных.

Гидрохимический режим воды контролировали ежедневно. Ежедневно в ручном режиме обновляли 15–20% объёма. Температуру выдерживали на уровне 28 ± 1 °C с помощью погружных термостатических нагревателей — регулируемых стеклянных моделей SHANDA SDH-318 мощностью 300 Вт (производитель SHANDA, Китай). Аэрацию воды на протяжении всего опыта

обеспечивали помпами Hidom AP-1200 (многофункциональные 3 в 1, 13 Вт, 800 л/ч; Китай). Остатки корма, скапливавшиеся на фильтрах, убирали вручную — от одного до трёх раз в сутки. Ежедневно фиксировали содержание кислорода, температуру и pH воды профессиональным цифровым оксиметром AR8406 (Chanfong, Китай) (рисунок 2.1.2.). Содержание аммония, нитритов, нитратов и карбонатную жёсткость контролировали ежедневно с помощью скрининговых тестов VladOx (МЕДОСА, Россия) (рисунок 2.2.3).

Основные параметры опытов 2 и 3 приведены в таблицах (2.1.2 и 2.1.3) [50].

Таблица 2.1.2. – Схема основных параметров второго научно-хозяйственного опыта

Группа	Период исследований, сут.	Начальная масса молоди, г	Плотность посадки рыб, шт./м ³
1: К.	40/20/27/46/51	7,6/49,4/76,7/122,7/190	320/250/200/150/100
2 Оп.	40/20/27/46/51	7,6/53,1/70,5/110/169,1	320/250/200/150/100
3 Оп.	40/20/27/46/51	7,6/55,9/85,8/137,1/211	320/250/200/150/100
4 Оп.	40/20/27/46/51	7,6/59,6/93,1/144,5/215,2	320/250/200/150/100
5 Оп.	40/20/27/46/51	7,6/55,9/88/137,7/231,2	320/250/200/150/100
6 Оп.	40/20/27/46/51	7,6/51,1/84,1/151,2/251,8	320/250/200/150/100
7 Оп.	40/20/27/46/51	7,6/46,7/78,7/117,3/177,6	320/250/200/150/100

Согласно группам эксперимента, группы рыб выращивались в каждом периоде при одинаковой плотности посадки. Эксперимент продолжался 184 суток. Было 5 этапов выращивания, продолжительность каждого определялась достижением критической ихтиомассы и отбором рыб для анализов: этап 1 длился 40 суток, этап 2 - 20 суток, этап 3 – 27 суток, этап 4 – 46 суток, этап 5 - 51 сутки (2-й опыт). Рыб выращивали в прямоугольных аквариумах объемом 100 л каждый.

Таблица 2.1.3. – Схема основных параметров (третий научно-хозяйственный опыт) [50]

Группа	Период исследований, сут.	Начальная масса молоди, г	Конечная масса молоди, г	Плотность посадки рыб, шт./м ³
1 К.	45	265,2	314,90	30
4 Оп.	45	377,3	445,40	30
6 Оп.	45	362,5	400,30	30
7 Оп.	45	353,1	412,60	30

Третий эксперимент длился 45 суток. С учётом результатов второго опыта сформировали четыре группы рыб. Содержали их в прямоугольных стеклянных аквариумах ёмкостью 200 л каждый. Кормление проводили вручную дважды в сутки.

2.2. Техническая характеристика основных элементов системы выращивания

Работа насосов на протяжении всего эксперимента подтвердила их эффективность. Непрерывная фильтрация и насыщение воды кислородом, простота обслуживания и очистки давали возможность удерживать условия содержания рыб в заданных рамках и выдерживать точность на всех этапах опыта. Помпа водяная для аквариума Hidom AP-1200, 800 л/ч, 13 Вт. Аквариумный водяной насос Hidom AB-1200 работает на основе простого, но эффективного механизма циркуляции воды внутри аквариума. В целом, аквариумный водяной насос Hidom AB-1200 обеспечивает основное движение воды и циркуляцию в аквариуме, способствуя общему здоровью и благополучию аквариумистов (Рисунок 2.2.1.).



Рисунок 2.2.1.
Помпа Hidom AP-1200



Рисунок 2.2.2.
Терморегуляторы марки heater
sdh- 318 Thermocontrol

Водонагреватель погружного типа SD-318 thermocontrol специально разработан для поддержания необходимой температуры в аквариумах (Рисунок 2.2.2.). Водонагреватели этого типа погружаются непосредственно в аквариумную воду и оснащены термостатом для регулирования температуры воды. Нагреватель помещается внутри раковины, обычно он крепится сбоку или располагается на дне. Регулировка температуры проводилась с помощью термостата, расположенного на нагревателе.

VladOx профессиональный включает в себя 7 различных тестовых комплектов, предназначенных для определения pH, аммония, нитритов, нитратов, карбонатной жесткости и другие химические показатели, которые важны для контроля устойчивой среды в аквариуме (Рисунок 2.2.3.). Для поддержания необходимого уровня растворенного кислорода в воде использовался поршневой воздушный компрессор HAILEA ACO-300A, обеспечивающий высокую производительность воздушного потока — 240 л/в минуту. (Рисунок 2.2.4.).

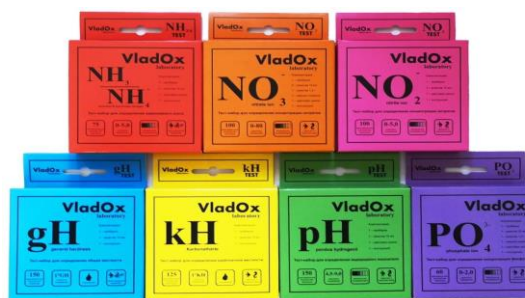


Рисунок 2.2.3. Тесты для аквариумной воды



Рисунок. 2.2.4. Компрессор HAILEA ACO-300A

Чтобы условия опыта 2 оставались сопоставимыми, во всех экспериментальных группах поддерживали одинаковый режим внешней и внутренней среды. Аэрация воды не прерывалась на протяжении всего эксперимента. Использовался фильтр для воды EHEIM classic 2217050

EHEIM CLASSIC 2217050



Рисунок. 2.2.5. Фильтр EHEIM classic 2217050



Рис. 2.2.6. Молодь тилапии в начале эксперимента

Гидрохимический анализ проб проводили на приборе автоматизированный проточный анализатор San++ (№ в Реестре СИ РФ 85140-22 компании Skalar (Нидерланды). Для оценки особенностей роста в начале и конце каждого периода проводили контрольные ловы с индивидуальным взвешиванием рыб на электронных весах ВЭУ-2-0,5/1 и ВЭУ-6-1/2. Абсолютный прирост рассчитывали по формуле: $W2 - W1 / t2 - t1 = \text{г/сут.}$

(Бретт, 1983) [7], относительную скорость роста — по формуле: $C = [10 \lg w_2 - \lg w_1 / t_2 - t_1 - 1] \times 100$ (Винберг, 1956) [10]. Дополнительно скорость роста характеризовали коэффициентом массонакопления (K_m), вычисляемым по формуле, предложенной С. А. Барановым и др. (1978) [4]: $K_m = (W_2^{1/3} - W_1^{1/3}) \times 3 / t_2 - t_1$, где $W_{2,1}$ — масса рыбы в конце и начале периода выращивания; $t_{2,1}$ — продолжительность выращивания. Коэффициент массонакопления позволяет сопоставлять скорость роста рыб с разной начальной массой тела. Его величина определяется внешними факторами (экологический коэффициент — $K_э$) и потенциально возможной скоростью роста (генетический коэффициент — $K_г$). При благоприятных внешних условиях — температурном и кислородном режимах, pH, плотности посадки и т. д. — K_m приравнивается к $K_г$ (по Завьялову А. П., Есавкину Ю. И., 2011) [26]. Перед началом эксперимента проводили ручную сортировку рыб, чтобы сформировать равноценные группы аналоги.

Сортировка молоди тилляпии по группам и молодь тилляпии в начале эксперимента показана на рисунках (Рисунок 2.2.6). Морфометрические измерения и вычисление индексов телосложения будут проводится по И. Ф. Правдину (1956) [45], и методике проведения испытаний на отличилось, однородность и стабильность (ООС, 2009) [36]. Для полного морфофизиологического и морфологического анализа рыб вскрывали. Определяли массу печени, желудочно-кишечного тракта, сердца, гонад и других органов. От тела отделяли голову, плавники, кожу с чешуёй, мышцы и стволовой скелет (Смирнов В.С. и др., 1972; Кублицкас Р.В., 1976) [55, 31].

Полученный показатели позволили рассчитать относительную массу отдельных органов и частей тела в % от массы тела и изобразить графически профили изучаемых показателе (Борисенко Е. Я., 1968 по Лабенцу А. В., Петрушину А.Б., 2008) [5, 39].

Гематологические показатели определены в начале и в конце эксперимента с использованием специального оборудования для изучения следующих параметров: эритроциты, гемоглобин, лейкоциты, Кровь отбирали

в пластиковые пробирки без антикоагулянта, закрытые пробками: так материал удобнее транспортировать и хранить. Образцы держали в холодильнике при +4 °С.

2.3. Приготовление обработанного комбикорма с изолейцином и других незаменимыми аминокислотами

Для приготовления комбикорма использовали следующие материалы и оборудование: комбикорм, порошок изолейцина и других незаменимых аминокислот, дистиллированную воду, распылитель (пульверизатор), термостат (сушильный шкаф), миски для смешивания и широкий поддон (рисунок 2.3.1). Навеску порошка изолейцина либо другой незаменимой аминокислоты растворяли в дистиллированной воде, нагретой до 45 °С. Соотношение обычно составляет примерно 10–30 г нужной аминокислоты на 100 мл дистиллированной воды (в зависимости от растворимости). Тщательно перемешивают до полного растворения (Рисунок 2.3.2.).



Рисунок 2.3.1. Технология обработки комбикорма аминокислотным раствором



Рисунок 2.3.2. Приготовление раствора аминокислот для обогащения комбикорма

Распределяли комбикорм тонким слоем на чистой ровной поверхности или в широком поддоне. С помощью распылителя равномерно распыляют раствор изолейцина по поверхности корма, постоянно помешивая для равномерного распределения. Затем пересыпают обработанный корм в поддоны для сушки и помещают поддоны в термостат (сушильный шкаф) при температуре 45–55 °С. Оставляют корм сохнуть на 2–3 часа, затем проверьте на ощупь, полностью ли он высох (он должен быть сухим и без следов влаги) (Рисунок 2.3.3.). После высыхания вынимают корм из духовки и дают ему остыть в сухом месте. Хранят обработанный корм в плотно закрытой таре в прохладном сухом месте.



Рисунок 2.3.3. Термостатическая сушка корма при 45–55 °С

Экспериментальные комбикорма отличались только разным уровнем добавления ключевых аминокислот с разветвленными боковыми цепями. В таблицах (2.3.1.) показано

Таблица 2.3.1 – Схема основных аминокислот с разветвленной боковой цепью белковой составляющей рационов [49, 50]

Группа	Массовая доля сырого протеина, %	Массовая доля изолейцина, %	Массовая доля валина, %	Массовая доля лейцина, %
1: К.	33,10	3,90*/1,29**	4,56*/1,51**	6,98*/2,31**
2 Оп.	33,23	4,27/ 1,42 (10%)	4,54/1,51 (0%)	6,95/2,31 (0%)
3 Оп.	33,36	4,65/ 1,55 (20%)	4,53/1,51 (0%)	6,92/ 2,31 (0%)
4 Оп.	33,49	5,01/ 1,68 (30%)	4,51/ 1,51 (0%)	6,90/ 2,31 (0%)
5 Оп.	33,66	4,60/ 1,55 (20%)	5,38/1,81 (20%)	6,86/2,31 (0%)
6 Оп.	34,58	4,48/ 1,55 (20%)	5,24/1,81 (20%)	9,35/ 3,23 (40%)
7 Оп.	35,14	5,14/ 1,81 (40%)	6,02/ 2,11 (40%)	9,20/ 3,23 (40%)

*массовая доля в протеине, ** массовая доля в корме [53]

Для достижения желаемых целей необходимо детальное изучение компонентов корма, поскольку аминокислоты являются ключевым элементом

в оценке качества корма. В таблице 2.3.2. показаны пропорции различных аминокислот в рецептурах кормов [53].

Таблица 2.3.2. - Содержание аминокислот в основном рационе корма*

Название аминокислоты	Содержание мг /кг	Погрешность мг /кг	Содержание %
Аспарагиновая к-та	29,97	4,80	3,00
Треонин	12,21	1,95	1,22
Серин	14,91	2,38	1,49
Глутаминовая кислота	56,75	9,08	5,68
Пролин	19,05	3,05	1,90
Глицин	27,13	4,34	2,71
Аланин	18,67	2,99	1,87
Валин	15,13	2,42	1,51
Изолейцин	12,91	2,07	1,29
Лейцин	23,13	3,70	2,31
Тирозин	6,82	1,09	0,68
Фенилаланин	13,95	2,23	1,40
Гистидин	7,52	1,20	0,75
Лизин	18,42	2,95	1,84
Аргинин	21,87	3,50	2,19
Метионин	3,88	0,62	0,39
Сумма всего, %			30,23**

Соотношение аминокислот в рационе рыб выражали в процентах от содержания лизина в стандартном корме, представленном в контрольной группе, с целью использования лизина в качестве контрольного показателя для анализа баланса аминокислот в различных составах (таблица 2.3.3.) [53].

Таблица 2.3.3. – Соотношение аминокислот в рационах рыб, % к лизину составляющей основной рацион в контроле

Лизин, принято за 100%			
Незаменимые (разветвленные) АК		Заменимые АК	
Изолейцин	70,1	Глутаминовая к-а	308,7

Продолжение таблицы 2.3.3.

Валин	82,1	Аспарагиновая к-та	163,0
Лейцин	125,5	Глицин	147,3
Незаменимые АК		Пролин	103,3
Аргинин	119,0	Аланин	101,6
Фенилаланин	76,1	Серин	81,0
Треонин	66,3	Гистидин	40,8
Метионин	21,2	Тирозин	37,0

Доля аминокислот с разветвленной цепью (ВСAA) в рационах рыб рассчитывалась в процентах по сравнению с содержанием лизина в базовом рационе контрольной группы в рамках моделирования концепции идеального белка и определения оптимального баланса незаменимых аминокислот (таблица 2.3.4.).

При исследовании пластического обмена предстоит определить содержание в мускулатуре сухого вещества, сырого протеина, сырого жира, углеводов, золы и валовой энергии по общепринятым методам.

Таблица 2.3.4. – Соотношение разветвленных аминокислот в рационах рыб, % к лизину составляющей основной рацион в контроле для моделирования концепции идеального протеина

Группа	Изолейцин	Валин	Лейцин
1К.	70*	82	125
2 Оп.	77	82	125
3 Оп.	84	82	125
4 Оп.	91	82	125
5 Оп.	84	98	125
6 Оп.	84	98	175
7 Оп.	98	114	175

*Примечание: значения округлены до целых [53].

Химический состав кормов оценивали по стандартизированным методикам [18]. Влагу определяли по ГОСТ Р 57059-2016 [19], сырую золу — по ГОСТ 26226-95 [16], сырой протеин — по ГОСТ 13496.4-2019 [15], сырой жир — по ГОСТ 7636 [14]. Содержание сырого протеина в образцах определяли по методу Кьельдаля (Kjeldahl-metoden) в соответствии с ГОСТ 13496.4-2019. Для пересчета общего азота в массовую долю белка во всех исследуемых образцах мяса тилипии применяли универсальный коэффициент 6,25 [41].

Определение содержания аминокислот. Для определения аминокислотного состава использовали ГОСТ 32195-2013 [17]. Аминокислотный анализ был проведен с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ, Shimadzu Co. Ltd, Киото, Япония), чтобы проанализировать и количественно определить количество 15 аминокислот в кормах + удобрениях + чистых аминокислотах (сорт корма) и их заменителях.

Приблизительно 0,2-0,5 г сухого образца взвешивали и гидролизовали 50 мл 50%-ной HCl в течение 18 часов при 110°C. Для доведения объема раствора до 100 мл использовали натриево-цитратный буфер с $\text{pH} = 2,2$. Затем образец подвергали дериватизации в колонном шкафу перед разделением на колонке для ВЭЖХ с использованием боратного буфера и О-фталевого диальдегида (ОРА). Для элюирования использовали три буфера в качестве подвижных фаз, и его детектировали с помощью флуоресцентного детектора при длинах волн $\text{atEX} = 348 \text{ нм}$ и $\text{EM} = 480 \text{ нм}$.

Для комплексной оценки биологической ценности белка мяса тилипии были рассчитаны следующие 6 индексов:

1. Аминокислотный скор (Chemical Score - CS): определяется путем сравнения содержания каждой незаменимой аминокислоты (НАК) в исследуемом белке с ее содержанием в эталонном белке (часто используется эталонный профиль ФАО/ВОЗ).

Метод Х. Митчела и Р. Блока (Mitchell, Block, 1946) предполагает сопоставление аминокислотного состава пищевых продуктов с составом идеального (гипотетического) белка, принятого ФАО-ВОЗ в 1973 г. По результатам сопоставления рассчитывают аминокислотный скор (АКС). Его выражают в процентах или как безразмерную величину — отношение содержания незаменимой аминокислоты (НАК) в исследуемом белке к её количеству в эталонном. Формула для расчёта сора (в %) включает АКИБ и АКЭБ — количество незаменимой аминокислоты в 1 г исследуемого и идеального белка соответственно.

$$АКС = \frac{\text{мг АК в 1г исследуемого белка}}{\text{мг АК в 1г «идеального» белка}} \times 100$$

АКИБ — это количество аминокислоты в 1 грамме исследуемого белка.

АКЭБ — это количество той же аминокислоты в 1 грамме идеальной (эталонной) белка [49, 86, 177, 209].

2. Индекс незаменимых аминокислот (ЕААI - Essential Amino Acid Index), это более комплексный показатель, чем скор. Он учитывает не одну, а все незаменимые аминокислоты одновременно. Указанный подход представляет собой модифицированную версию метода химического сора (Oser, 1951) и обладает преимуществом, заключающимся в учете баланса всех незаменимых аминокислот. Расчетная формула индекса имеет следующий вид:

$$\text{ИНАК} = \sqrt[8]{\frac{Val}{Val \text{ э}} \frac{Ile}{Ile \text{ э}} \frac{(Met + Cys)}{(Met + Cys) \text{ э}} \frac{Leu}{Leu \text{ э}} \frac{Thr}{Thr \text{ э}} \frac{Trp}{Trp \text{ э}} \frac{(Phe + Tyr)}{(Phe + Tyr) \text{ э}}}$$

где э - содержание аминокислоты в эталонном белке.

ИНАК = 1: Идеальный белок. Это значение достигается, когда содержание всех незаменимых аминокислот точно соответствует эталону.

ИНАК = 0: Белок неполноценен. Это означает, что в нём полностью отсутствует хотя бы одна незаменимая аминокислота (лимитирующая аминокислота).

0 < ИНАК < 1: Хороший, но не идеальный белок. В этом случае значение ИНАК численно равно содержанию самой дефицитной аминокислоты (лимитирующей), то есть $\text{ИНАК} = C_{\min}$ [117, 146, 244].

3. Индекс PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score)

Улучшенный показатель, который учитывает не только состав, но и перевариваемость белка в организме человека. Долгое время был золотым стандартом ФАО/ВОЗ [49, 98, 208].

$$\text{PDCAAS, \%} = \frac{\text{мг лимитирующей АК в 1 г тестируемого белка}}{\text{мг той же АК в 1 г "идеального" белка}} \times 95$$

Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score — метод оценки качества белка на основе потребностей человека в аминокислотах и его способности переваривать их. PDCAAS рассчитывается путем умножения скорректированного показателя аминокислот на истинную усвояемость белка. Показатель аминокислот определяется как отношение содержания первой лимитирующей аминокислоты в 1 г тестируемого белка к содержанию той же аминокислоты в 1 г эталонного белка.

TD* (true fecal digestibility) — это истинная усвояемость белка, измеренная в эксперименте на крысах. Итоговый результат умножается на 100, чтобы получить процентное значение. Качество белка по PDCAAS определяется с учётом его усвояемости и уровня самой дефицитной аминокислоты.

4. Индекс DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score)

Самый современный и рекомендуемый сейчас стандарт. Главное отличие от PDCAAS в том, что переваримость аминокислот определяется не по общему белку, а для каждой незаменимой аминокислоты отдельно, и измеряется на уровне подвздошной кишки (а не по фекалиям), что точнее.

Аналогичен PDCAAS, но использует данные о подвздошной перевариваемости. [181].

$$\text{DIAAS} = \text{Аминокислотный скор (лимитирующей а/к)} \\ \times \text{кишечную переваримость белка (\%)}$$

Где, кишечную переваримость белка (%) = 92%.

5. Индекс Карпачи

Среди методов оценки белков более полным представляется метод Карпачи–Линдера–Варга. Его принцип основан на сравнении аминокислотного состава исследуемого белка со стандартом, в роли которого выступает белок куриного яйца. Формула для расчёта по 10 незаменимым аминокислотам имеет следующий вид: [1, 32, 49].

$$\text{БЦ} = 75 \times \sqrt[10]{\left(\frac{a_{x1}}{a_{я1}} \frac{a_{x2}}{a_{я2}} \dots \frac{a_{xn}}{a_{яn}}\right) \left(\frac{b_{я1}}{b_{x1}} \frac{b_{я2}}{b_{x2}} \dots \frac{b_{яn}}{b_{xn}}\right)} + 25 \left(1 - \frac{P_x - P_{я}}{P_{я}}\right)$$

"идеального белка" (К или БЦ=100), является "неполноценный белок" (К или БЦ =0). где n — число незаменимых аминокислот; a_{x1} — содержание незаменимых аминокислот в исследуемом белке, количество которого меньше, чем в белке яйца, %; $a_{я1}$ — содержание этих же аминокислот в белке яйца, %; $b_{я1}$ — содержание незаменимых аминокислот, количество которых в белке яйца меньше, чем в исследуемом белке, %; b_{x1} — содержание этих же аминокислот в исследуемом белке, %; P_x — сумма незаменимых аминокислот в исследуемом белке, %; $P_{я}$ — сумма незаменимых аминокислот в белке яйца, %.

6. Коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС)— это количественный показатель, который характеризует средний избыток незаменимых аминокислот в исследуемом белке относительно эталонного (идеального) белка.

$$\text{КРАС} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_m)}{n}$$

Неполноценный белок ($C_m = 0$): КРАС перестаёт измерять избыток и становится просто "средней оценкой" аминокислотного профиля.

Идеальный белок ($C_i = C_m = 1$): КРАС обнуляется, так как избытки отсутствуют. Ограничение показателя: Нулевое значение КРАС

присваивается как идеальному белку, так и любому другому, у которого просто нет избыточных аминокислот. Таким образом, он не чувствителен к различию между истинным идеалом и просто сбалансированным белком без перекосов [27]. Для выяснения особенностей интенсивности обмена в зависимости от массы рыб проведены специальные опыты потребления кислорода в замкнутых респирометрах (Строганов Н.С., 1962) [56].

Определение величины УРК методом замкнутых респирометров.

Расчет величины УРК ведут по следующей формуле:

$$УРК = \frac{V \times (O_{2\text{исх.}} - O_{2\text{кон.}}) \times 60}{M \times T},$$

Где: УРК (ИВА) – удельный расход кислорода выделения аммония, мг/кг×ч; V – объем воды в емкости, л; $O_{2\text{исх.}}$ – исходная концентрация кислорода, мг/л; $O_{2\text{кон.}}$ – конечная концентрация кислорода мг/л; T – период времени между замерами $O_{2\text{исх.}}$ и $O_{2\text{кон.}}$, мин; M – общая масса рыбы в емкости, кг.

Средняя температура, к которой привязывается полученная величина УРК, рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{t_{\text{исх.}} + t_{\text{кон.}}}{2},$$

Где: t – средняя температура; $t_{\text{исх.}}$ – температура воды в начале эксперимента, °C; $t_{\text{кон.}}$ – температура воды в конце эксперимента, °C.

Биометрическую обработку экспериментальных данных выполняли по методам Н. А. Плохинского [42], уровень достоверности принят равным 95% и с использованием программного пакета MS Excel.

Расчет экономической эффективности выполняется по формуле И.Л. Фридмана (1986) [58]: Экономический эффект при выращивании находим по разности рыбопродукции $Э_3 = \Pi_{1-7} * Ц \text{ руб.} = \text{руб./м}^3$

$Э_3$ – экономический эффект, руб; Ц – цена 1 кг товарной рыбы – руб; Π_0 – ихтиомасса в начале периода, г; Π_k – ихтиомасса в конце периода, г

Прирост ихтиомассы:

$$\Pi_{1-7} = (M_k, \text{ г} * N_k \text{ шт.} * V \text{ м}^3) - (M_0, \text{ г} * N_0 \text{ шт.} * V \text{ м}^3) = \text{кг/м}^3;$$

M_0 , г - начальная масса, (группа 1 -7); M_k , г - конечная масса, (группа 1-7); V , м³ – объем; $N_{н, к.}$, шт./м³ плотность посадки в начале и в конце периода.

Изучаемые показатели и объем исследований в период 2025-2026 гг (таблица 2.3.5.)

Таблица 2.3.5. Объем экспериментальных исследований в 2025-2026 гг.

Показатели	Ед. изм.	Количество особей
Количество опытов	3	408 шт.
Продолжительность опыта 1	сутки	21
опыта 2	сутки	184
опыта 3	сутки	45
Гидрохимический режим	определений	более 100
Морфометрические показатели	8 признаков	1936 особей
Морфофизиологические показатели	7 признаков	147 особей
Морфологические показатели	7 признаков	147 особей
Химический состав мышц и корма	проб	50
Гематологические показатели	проб	50
Основной обмен	опытов	210
Скорость массонакопления	значений	210

Методика проведения дегустационной оценки вареного мяса тилапии.

Органолептическую оценку качества вареного мяса тилапии проводили по пятибалльной системе в соответствии с требованиями системы стандартов ISO 8586, ISO 8589, ISO 5496, ISO 4121, ISO 13299 и ГОСТ ISO 6658-2016. Для анализа была сформирована дегустационная комиссия в составе 5 обученных дегустаторов, способных давать объективную сенсорную оценку. Подготовку образцов осуществляли следующим образом: рыбу варили в чистой питьевой воде без добавления специй в течение 20 минут. За 5 минут до окончания варки в воду добавляли поваренную соль из расчета 1% от общего объема жидкости (10 г соли на 1 литр воды). Готовую рыбу извлекали из бульона, слегка охлаждали и отбирали для дегустации кусочки спинных мышц (филе) массой 20–30 г, без кожи и костей. Температура образцов при подаче составляла 40–50°С. Для обеспечения объективности каждому образцу присваивали

цифровой код (слепой метод), а между пробами дегустаторы ополаскивали рот питьевой водой без газа. Органолептическую оценку вели последовательно, фиксируя внешний вид, цвет, запах, консистенцию и вкус. Каждый показатель оценивали по шкале от 5 до 2 баллов в соответствии с принципами количественного шкалирования ISO 4121. Оценка «5 баллов» соответствовала отличному качеству: поверхность чистая, куски правильные и целые; цвет белый, равномерный; запах приятный, свойственный вареной рыбе; консистенция нежная, сочная; вкус приятный, в меру соленый. Оценка «4 балла» (хорошее качество) допускала незначительную деформацию кусков, неравномерность цвета, слабый специфический (илистый) запах, недостаточную сочность или легкую рыхлость, а также слабо выраженный вкус или незначительное отклонение в солености. Оценка «3 балла» (удовлетворительное качество) выставялась при частичной разваренности и нарушении формы кусков, наличии выраженных серых или желтоватых пятен, отчетливом затхлом запахе, сухой или «резинистой» консистенции, а также пресном или горьковатом вкусе. Оценка «2 балла» (неудовлетворительное качество) соответствовала сильно разваренным, бесформенным кускам, несвойственному темному цвету, явному гнилостному запаху, волокнистой «кашеобразной» консистенции и несвойственному резкому или тухлому привкусу; наличие хотя бы одного показателя с оценкой 2 балла являлось основанием для браковки образца. Результаты фиксировали в дегустационных листах. Обработку данных проводили путем вычисления среднего арифметического значения по каждому показателю и итоговой суммы баллов. Общую оценку качества образцов определяли по среднему баллу: 5,0–4,5 отличное качество; 4,4–4,0 хорошее качество; 3,9–3,0 удовлетворительное качество; ниже 3,0 неудовлетворительное качество (брак).

Статистический анализ. результатов вели общепринятыми методами биометрической статистики. Расчёты выполняли в Microsoft Excel версий 2010 и 2016. Данный тест был выбран на основе методических основ, изложенных в трудах Плохинского Н.А. (1970), поскольку этот подход считается

надежным стандартом при анализе биометрических данных и оценке различий между группами [41, 50].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Разработка методики количественного определения изолейцина методом ИК-Фурье спектроскопии с использованием хеометрических моделей.

Контроль качества чистых кормовых аминокислот, таких как L-изолейцин, является критически важным этапом в производстве комбикормов для обеспечения сбалансированности рационов и снижения экологической нагрузки. Традиционные методы анализа (ВЭЖХ) точны, но требуют значительных временных и материальных затрат. Инфракрасная спектроскопия с Фурье-преобразованием в ближней области (FT-NIR) в сочетании с хеометрией предлагает решение для экспресс-анализа без пробоподготовки. Данный раздел посвящен разработке и валидации количественной методики определения изолейцина на основе калибровочной модели PLS-регрессии.

В качестве объектов исследования выступили 435 образцов кристаллических кормовых аминокислот, предоставленных ведущими мировыми производителями, включая Evonik, Adisseo, Ajinomoto и другие. Целевым аналитом являлся L-изолейцин. Спектральный анализ проводили на Фурье-спектрометре ближнего инфракрасного диапазона МРА (Bruker, Германия) в режиме интегрирующей сферы. Получение эталонных данных осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 33428 (ISO 17180). Математическая обработка данных и построение калибровочных моделей выполнены с использованием специализированного программного пакета OPUS (Bruker). Для каждого образца был записан спектр поглощения в ближней ИК-области ($9000\text{--}4000\text{ см}^{-1}$). С целью учета возможной неоднородности образца для каждого измерения выполняли 4 сканирования с промежуточной переупаковкой пробы. На основе полученных спектров была сформирована исходная матрица данных, где строки соответствовали образцам, а столбцы – значениям оптической плотности при соответствующих

волновых числах. Для минимизации влияния систематических помех, связанных с рассеянием света и неоднородностью размера частиц, а также для усиления информативных спектральных признаков, к исходным спектрам были применены методы стандартной нормальной вариации (Standard Normal Variate, SNV) и мультипликативной коррекции рассеяния (Multiplicative Scatter Correction, MSC). Для установления количественной связи между предобработанными спектрами и содержанием L-изолейцина использован метод проекции на латентные структуры (Partial Least Squares regression, PLS-регрессия). В качестве предикторов (X-матрица) выступали спектральные данные, в качестве отклика (Y-переменная) – эталонные значения концентрации, определенные методом ВЭЖХ.

Прогностическая способность и прочность (устойчивость) PLS-модели были оценены с помощью процедуры перекрестной проверки (cross-validation). Исходная выборка была разделена на несколько блоков; модель последовательно калибровалась на всех данных, кроме одного блока, который использовался для расчета ошибки прогноза. Для предотвращения переобучения в процессе валидации было определено оптимальное количество латентных переменных (главных компонент), минимизирующее ошибку предсказания. Результирующая модель характеризовалась набором ключевых метрологических параметров, рассчитанных в ходе данной процедуры. Для создания калибровочных моделей использовано 435 образцов аминокислот от различных поставщиков.

Разработанные PLS-модели для количественного прогноза содержания основного вещества показали хорошее согласие с данными ВЭЖХ (Таблица 3.1.1.1.). Для лизина, метионина и валина, и треонина получены высокие значения R^2 ($>0,93$) и RPD ($>3,87$), что свидетельствует об отличной прогностической способности моделей. Для изолейцина значения R^2 были умеренными (0,907), а RPD составили 3,29.

Таблица 3.1.1.1. - Калибровочные модели по содержанию аминокислот

Аминокислот	Ед. изм	Количество образцов в калибровке	Диапазон концентрации		RMSECV/ RMSEP	RMSEE*	SEC	R ²	SD	RPD
			Мин.	Макс.						
Валин	%	51	93,14	99,73	0,513	0,331	0,333	93,26	1,29	3,87
Лизин	%	208	48,52	78,93	0,673	0,607	0,607	97,79	4,07	6,71
Метионин	%	60	94,74	99,91	1,19	0,806	0,74	97,98	2,21	5,56
Треонин	%	96	78,04	99,95	0,864	0,586	0,587	98,25	2,45	6,11
Изолейцин	%	20	84,61	96,57	0,935	0,808	0,819	90,74	2,69	3,29

Примечание: RMSEE – среднеквадратичная погрешность оценки; RMSECV – среднеквадратичная погрешность перекрёстной проверки; RMSEP – среднеквадратичная погрешность предсказания; SEC – стандартная ошибка калибровки.

Это объясняется, в первую очередь, высоким стандартным отклонением эталонного метода ВЭЖХ для этих АК, что вносит существенную неопределенность в исходные данные для калибровки. Несмотря на это, ошибка прогноза (RMSEP) разработанных калибровочных моделей не выходит за пределы воспроизводимости эталонных хроматографических методов по ISO 17180 и ISO 13903.

Оценка степени соответствия результатов, полученных разработанной FT-NIR методикой, эталонным значениям (правильность) и воспроизводимости результатов (прецизионность). Критерий 1: сравнение с допусками эталонного метода. Среднеквадратичная ошибка прогноза ($RMSEP \approx RMSECV = 0,935\%$) не превышает межлабораторную воспроизводимость (принятую за 1-2%) эталонного метода ВЭЖХ согласно стандартам ISO 13903 и ISO 17180. Это означает, что расхождение между FT-NIR и ВЭЖХ находится в пределах погрешности самого арбитражного метода.

Критерий 2: анализ смещения (Bias). Статистический анализ остатков (разность между предсказанными и эталонными значениями) не выявил значимого систематического смещения, что подтверждается симметричным распределением точек относительно нулевой линии на графике остатков. Результаты перекрестной проверки калибровочной модели для определения содержания L-изолейцина представлены на рисунок. 3.1.2.1.

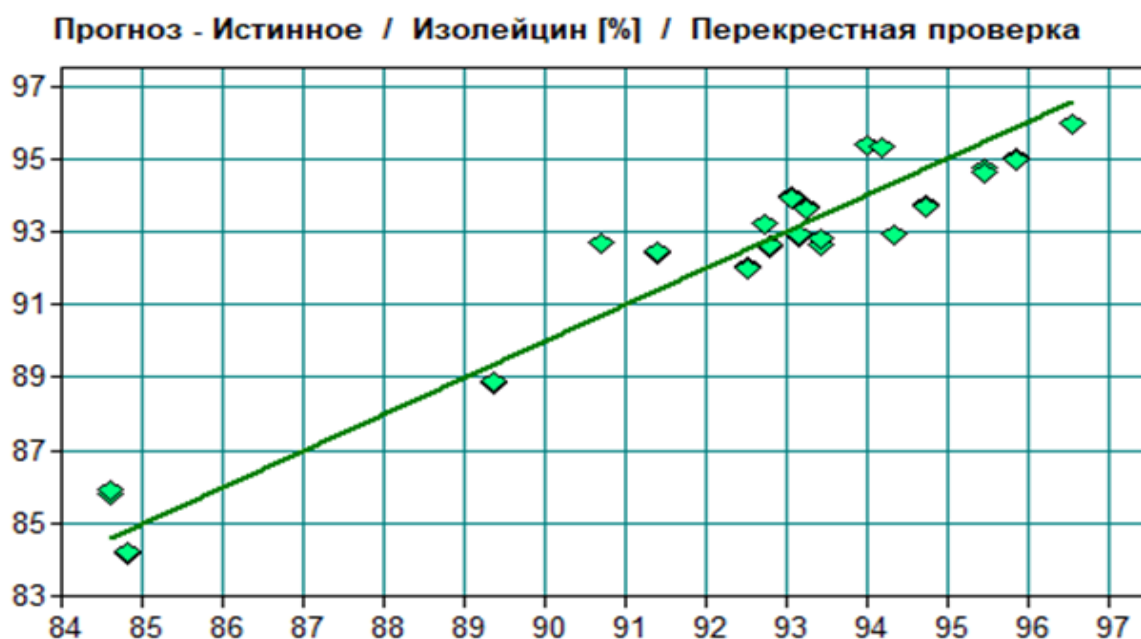


Рисунок. 3.1.2.1. - Калибровочное решение для аминокислоты L-изолейцин

Установлена принципиальная возможность применения метода FT-NIR-спектроскопии в сочетании с PLS-регрессией для экспресс-контроля содержания L-изолейцина в кормовых аминокислотах без пробоподготовки.

Показано, что разработанная калибровочная модель для изолейцина, построенная на основе 20 образцов, обладает удовлетворительной прогностической способностью ($R^2 = 0,907$) и применима для количественного анализа. Значение RPD (3,29) подтверждает адекватность модели для скринингового контроля. Выявлено, что точность модели ($RMSEP = 0,935\%$) находится в пределах воспроизводимости эталонного хроматографического метода (ISO 13903, ISO 17180). Это означает, что расхождение между результатами FT-NIR и ВЭЖХ не превышает погрешность арбитражного метода. Показано отсутствие значимого систематического смещения (bias), что свидетельствует о правильности методики. Таким образом, валидированная FT-NIR методика является корректной, точной и прецизионной альтернативой трудоемкому хроматографическому анализу для оперативного контроля массовой доли L-изолейцина в кристаллических кормовых аминокислотах в диапазоне концентраций от 84,6% до 96,6%.

3.2. Оценка влияния уровня изолейцина и разветвленных аминокислот в комбикорме на динамику живой массы и линейного роста по этапу онтогенеза Нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*), (первый научно-хозяйственный опыт).

В эксперименте использовали четыре рациона: контрольный (основной) и три опытных. Контрольный рацион содержал 34,00% сырого протеина. Протеин в опытных рационах был близок к этому значению с учётом погрешности анализа. Исследования роста тиляпии проводились в течение 21 дня. Показатели роста для *O. niloticus*, кормившихся в соответствии с четырьмя рационами, представлены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1. – Динамика массы тела при использовании экспериментальных рационов *O. niloticus* (М - среднее значение $\pm$ SD стандартное отклонение, n = 5)

Показатели	Группа			
	1 (контроль)	2	3	4
Средняя начальная масса (г)	12,94 $\pm$ 2,16	12,65 $\pm$ 1,12	12,56 $\pm$ 1,18	12,66 $\pm$ 0,93
Средняя конечная масса (г)	30,46 $\pm$ 3,98	35,64 $\pm$ 1,7 ^a	42,59 ^a $\pm$ 1,58 ^{a,b}	41,97 ^a $\pm$ 1,65 ^{a,b,c}
Прирост массы тела (г)	17,52 $\pm$ 0,55	22,99 $\pm$ 0,06 ^a	29,53 ^a $\pm$ 0,61 ^{a,b}	27,31 ^b $\pm$ 1,57 ^{a,b,c}

*Примечание: достоверность ($P > 0,05$) здесь и далее: а- к 1-й контрольной группе; b - 3 - й к 2- й группе; c- 4 - ой к 2- й группе; d- 4 -ой к 3-й группе [50].

Все экспериментальные диеты (группы 2, 3 и 4) при добавке изолейцина 10 %, 20, 30% соответственно привели к достоверно более высоким результатам, чем контрольная диета (группа 1). Это подтверждается буквенным индексом а во всех этих группах. В 3-ой группе при добавлен изолейцин 20 %, показано наибольшая конечная масса (42,59 г) и абсолютный прирост (29,53 г). Группа 4 при добавлении изолейцина 30 %, высокие показатели, близкие к группе 3 (конечная масса 41,97 г, прирост 27,31 г), но между ними есть статистически значимое различие (индекс с в группе 4 указывает на отличие от группы 3). Группа 2 достоверно лучше контроля, но

значительно уступает группам 3 и 4 (конечная масса 35,64 г, прирост 22,99 г). Индексы b в группах 3 и 4 показывают, что их результаты статистически лучше, чем в группе 2. Наиболее эффективной является диета группы 3 она обеспечила максимальное превышение как по конечной массе (39,8%), так и по приросту (68,6%) относительно контроля. Диета группы 4 также показала высокую результативность, увеличив конечную массу на 37,8%, а прирост на 55,9%. Диета группы 2, хотя и оказала положительный эффект, была существенно менее эффективной (прирост 31,2%) по сравнению с диетами 3 и 4.

Данные рисунка 3.2.1. демонстрируют влияние различных экспериментальных рационов на линейный рост молоди рыб. В то время как исходные показатели длины были практически идентичны во всех группах (в диапазоне 9,17–9,25 см), что подтверждает однородность материала в начале опыта, применение разных диет привело к выраженным различиям в конечных результатах.

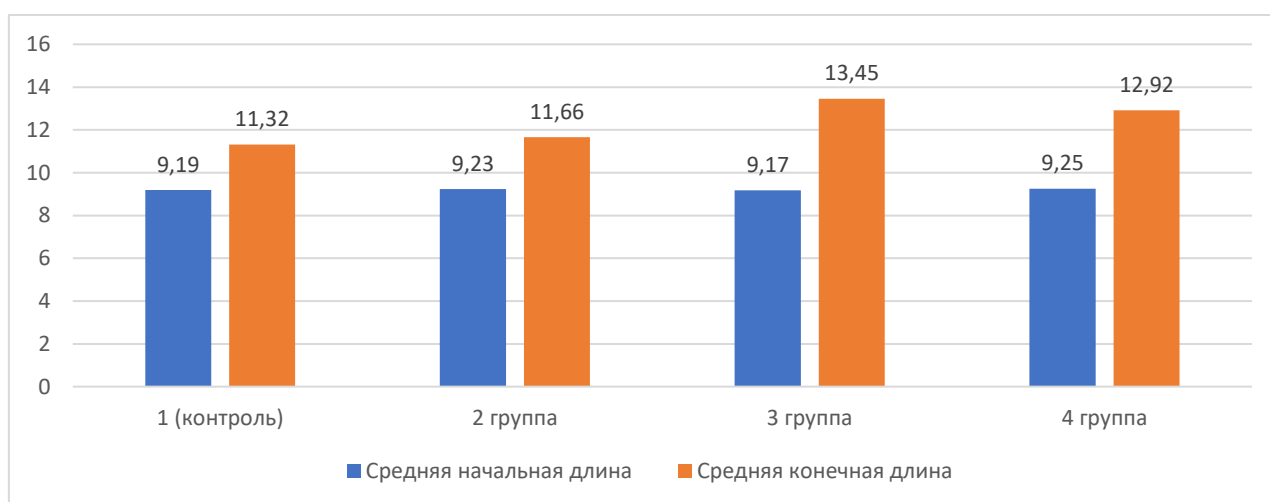


Рисунок 3.2. 1. Средняя длина тела рыбы, см

Наибольший стимулирующий эффект на рост в длину отмечен при использовании группа 3 при добавлена изолейцин 20%, которая обеспечила достоверное увеличение показателя до 13,45 см. Группа 4 при добавлена изолейцин 30% также показала высокую эффективность (12,92 см), несколько

уступая группе 3. Рост рыб на группе 2 при добавлении изолейцина 10% (11,66 см) был достоверно выше, чем в контрольной группе (11,32 см), но существенно ниже, чем в группах 3 и 4. Таким образом, динамика линейного роста полностью коррелирует с данными по увеличению массы тела, подтверждая, что группах 3 и 4 являются наиболее сбалансированными для оптимального развития молоди.

Выводы по разделу. Установлена четкая корреляция между динамикой массы и линейного роста. Группы (3 и 4), обеспечившие наибольший массовой прирост, одновременно стимулировали и максимальный рост рыб в длину, что подтверждает их сбалансированность и благоприятное влияние на общее развитие молоди.

Наибольшие результаты показал рацион с 20% добавкой изолейцина (группа 3), который обеспечил максимальные показатели конечной массы (42,59 г), абсолютного прироста (29,53 г; увеличено на 68,6% сравнительно с контролем), конечной длины тела (13,45 см).

Показано, что относительная эффективность аминокислотных добавок 30% (группа 4), несмотря на высокую эффективность, близкую к группе 3, статистически значимо уступал ему по приросту массы, что указывает на возможный избыток аминокислоты при данном уровне включения. Рацион с 10% добавкой (группа 2), хотя и достоверно улучшил показатели относительно контроля, был существенно менее эффективен, чем группы с более высоким содержанием изолейцина.

Разработали семь рационов. Контрольная диета (основной рацион) фактически содержала 33,1% сырого протеина; остальные шесть имели близкое значение — в пределах погрешности измерения. В таблице 3.2.4 приведён краткий анализ основных пищевых компонентов, выполненный до составления экспериментальных рационов. Рецепт и приблизительный состав рационов представлены в таблицах (3.2.2 и 3.2.3).

Таблица 3.2.2. – Химический состав основного рациона по массовой доле в %

Показатель, %		Показатель, %	
ОЭ, ккал/100г	245	Метионин+цистин,	1,04
М.д. сырого протеина	33,10	Треонин,	1,27
М. д. сырой жира	8,01	Са,	1,77
М. д. сырая клетчатки	4,84	Р,	1,30
Содержание Лизина	1,95	Na,	0,41
Содержание Метионина	0,61		

В состав комбикорма экспериментальной группы были дополнительно включены следующие витамины и минеральные вещества (в расчете на 1 кг) в таблице 3.2.3.

Таблица 3.2.3. – Нормы дополнительного ввода биологически активных веществ (БАВ) в комбикорм (на 1 кг)

Витамин	Значение	Наименование	Значение
А (ретинол), Тыс. МЕ/кг	17,00	Вс (фолиевая), мг/кг	5,00
D ₃ (кальциферол), Тыс. МЕ/кг	3,50	С (аскорбиновая), мг/кг	500,00
Е токоферил ац-т, мг/кг	20,00	Н (биотин), мг/кг	1,50
K ₃ (менадион), мг/кг	5,00	Fe, мг/кг	20,00
B ₁ (тиамин), мг/кг	15,00	Cu, мг/кг	2,50
B ₂ (рибофлавин), мг/кг	30,00	Zn, мг/кг	18,00
Пантотеновая к-т, мг/кг	50,00	Mn, мг/кг	25,00
B ₄ (холинхлорид), мг/кг	500,00	Co, мг/кг	0,50
Ниацин, мг/кг	200,00	I, мг/кг	1,00
B ₆ (пиридоксин), мг/кг	17,00	Se, мг/кг	0,10
B ₁₂ (кобаламин), мг/кг	0,07		

В проведенной работе был рассчитан рецепт кормов для всех фаз эксперимента, представлен в таблице 3.2.4.

Таблица 3.2.4. – Состав компонентов, используемых в рецептурах рационов для кормления нильской тиляпии *Oreochromis niloticus*.

Состав	В рецепте	Состав	В рецепте
Пшеница СП 16%	25,49	Шрот подсолнечный СП 36%, СК 17%	7,74
Дрожжи пивные	5,00	Шрот соевый СП 46%	20,0
Лигногран	2,00	Мука рыбная СП 69%	16,00
Премикс	1,00	Отруби пшеничные СП 16,0%	15,00
Дрожжи кормов. СП 46%	4,77	Масло подсолнечное	3,0

Температура является основополагающим фактором экологии и физиологии, и накоплено множество данных о её влиянии на водные организмы. Однако, большинство исследований ограничивалось анализом влияния постоянных температур, в то время как в естественной среде рыбы подвергаются значительным колебаниям температуры. Ранее предполагалось, что влияние изменений температуры эквивалентно влиянию постоянной температуры, то есть средней температуры в период колебаний.

Однако, практика показывает, что это предположение неверно. Одной из важнейших задач рыбоводства в промышленных системах является совершенствование систем контроля температуры для создания идеальной среды, способствующей эффективному росту и оптимальному потреблению корма, тем самым повышая эффективность его усвоения.

Статистические показатели температурного и кислородного режимов в опытных группах представлены в таблице 3.2.5.

Будучи пойкилотермным организмом, тиляпия, как и другие рыбы, зависит от температуры воды: именно она напрямую определяет уровень её биологической активности. Пик активности приходится на диапазон 26–30 °С.

Следует отметить, что резкие колебания температуры приводят к прекращению питания, а воздействие критических температур может привести к гибели рыб.

Таблица 3.2.5.– Температурный и кислородный режимы в водной среде

Показатель	Группа						
	1 к	2	3	4	5	6	7
Температура °С, норма 26-30							
M	27,8	27,9	28,1	28	27,9	27,8	28
m	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02
δ	0,16	0,13	0,09	0,19	0,07	0,17	0,15
Min	27,3	27,4	27,9	27,3	27,2	27,2	27,6
Max	28,1	27,8	28,2	28,1	27,4	27,9	28,2
Cv, %	0,6	0,5	0,3	0,7	0,2	0,6	0,5
Растворенный кислород, мг/л, более 3,0							
M	5,6	5,7	5,3	5,6	5,4	5,9	5,9
m	0,08	0,11	0,12	0,08	0,09	0,07	0,12
δ	0,40	0,55	0,58	0,40	0,43	0,36	0,58
Min	4,9	4,3	4,3	4,9	4,7	5,3	4,1
Max	6,1	6,4	6,1	6,1	6	6,4	6,6
Cv, %	7,2	9,6	10,9	7,2	7,8	6,1	9,9

В ходе эксперимента средняя температура воды составляла 27,8 °С, с небольшими колебаниями до 28 °С, что соответствует оптимальному для роста диапазону.

С физиологической точки зрения, в экспериментальной среде поддерживался идеальный уровень растворенного кислорода со средней концентрацией 5,6 мг/л. Что касается рН, отражающего кислотно-щелочной баланс воды, то в ходе исследования его значения варьировались от 6,0 до 8,0, со средним значением 7,2. Этот диапазон считается идеальным для роста и развития тилляпии, поскольку обеспечивает сбалансированную среду между умеренной кислотностью и щелочностью. Для обеспечения оптимальных условий также отслеживался уровень рН водной среды. Измеренные значения

соответствовали нормативному диапазону, их детальная статистика по группам приведена в таблице 3.2.6.

Таблица 3.2.6. – Значения pH воды.

Показатель	Группа						
	1 к	2	3	4	5	6	7
	pH, ед, 6,5 – 8,5						
M	7,2	7,2	7,3	7,2	7,2	7,3	7,2
m	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
δ	0,11	0,13	0,14	0,11	0,14	0,12	0,15
Min	7	7	7	7	7	7,1	7
Max	7,4	7,4	7,5	7,4	7,5	7,5	7,5
Cv, %	1,5	1,8	1,9	1,6	1,9	1,6	2,0

В таблице представлены статистические показатели кислотно-щелочного баланса воды в ходе эксперимента для семи групп молоди тилляпии (1 контрольная и 6 опытных). Нормативный диапазон для выращивания данного вида рыб составлял 6,5 – 8,5 ед. Среднесуточные значения показателя pH во всех группах находились в пределах нормы и были статистически однородны. Среднеарифметическое значение (M) колебалось от 7,2 до 7,3 ед., что свидетельствует о нейтральной или слабощелочной реакции водной среды, оптимальной для гидробионтов.

Статистический анализ данных демонстрирует высокую стабильность условий, где минимальные (Min) и максимальные (Max) показатели по группам находились в узком диапазоне от 7,0 до 7,5 ед., не выходя за границы оптимального интервала. Низкое значение стандартного отклонения (δ) в пределах 0,11–0,15 указывает на незначительное варьирование данных вокруг среднего. Коэффициент вариации (Cv) во всех группах не превышал 2,0%, что подтверждает незначительную изменчивость показателя и высокую степень контроля за водной средой на протяжении всего эксперимента.

Параметр кислотно-щелочного баланса воды на протяжении эксперимента поддерживался в оптимальном для выращивания молоди

тияпии диапазоне. Отсутствие статистически значимых отклонений между контрольной и опытными группами по данному показателю позволяет исключить его влияние на различия в росте и физиологическом состоянии рыб, которые могут быть обусловлены действием исследуемых факторов (состав рациона, температура и т.д.). Все контролируемые параметры условий содержания в течение эксперимента находились в пределах рекомендуемых значений. Обобщённые результаты мониторинга водной среды по группам приведены в таблице 3.2.7.

Таблица 3.2.7. – Показатели качества воды

Показатель	Группа						
	1 к	2	3	4	5	6	7
Температур °C	27,8±0,03	27,9±0,02	28,1±0,03	28±0,04	27,9±0,01	27,8±0,01	28±0,03
O ₂ , мг/л	5,6±0,07	5,7±0,06	5,5±0,09	5,6±0,07	5,6±0,06	5,9±0,06	5,9±0,09
pH, ед,	7,2±0,02	7,3±0,02	7,3±0,02	7,3±0,02	7,2±0,03	7,3±0,02	7,2±0,03
(NH ₄ ⁺), мг/л	0,18±0,01	0,19±0,02	0,17±0,03	0,15±0,02	0,13±0,01	0,16±0,01	0,14±0,02
(NO ₂ ⁻), мг/л	0,43±0,07	0,42±0,06	0,41±0,08	0,38±0,07	0,41±0,06	0,41±0,07	0,39±0,08
(NO ₃ ⁻), мг/л	4,41±0,84	4,37±0,89	4,35±0,91	4,28±0,87	4,40±0,93	4,35±0,82	4,29±0,91

Температура воды, °C, Аммиак (NH₄⁺), мг/л, Нитриты (NO₂⁻), мг/л, Нитраты (NO₃⁻), мг/л

Все исследуемые группы (варианты 1-7) по всем показателям находятся в безопасных пределах установленных норм. Условия содержания во всех вариантах можно считать благоприятными и не отличающимися критически. Показатель температура воды стабилен во всех группах. Максимальное значение (28,1°C во варианте 3) незначительно (на 0,3°C) превышает минимальное (27,8°C во вариантах 1 и 6). Различия находятся в пределах погрешности измерений и не имеют биологического значения в данном оптимальном диапазоне. Растворенный кислород группы с наибольшим показателем варианты 6 и 7 (5,9 мг/л). Группа с наименьшим показателем вариант 3 (5,5 мг/л). Уровень кислорода во вариантах 6 и 7 достоверно выше, чем во варианте 3, и немного выше, чем в остальных группах (~5,6-5,7 мг/л). Несмотря на различия, все значения почти в два раза превышают минимальную норму (3,0 мг/л), что указывает на отличный кислородный

режим во всех группах. pH значения практически идентичны во всех группах (7,2-7,3), что свидетельствует о стабильной нейтральной среде. Статистически значимых различий нет.

Аммиаку (NH_4^+) наблюдается тенденция к снижению концентрации. Все значения значительно ниже нормы ($<0,5$ мг/л), но варианты 5 и 7 демонстрируют наименьшую нагрузку по этому токсичному параметру. Нитриты (NO_2^-) - картина схожа с аммиаком. Разность между группами невелика, и все значения находятся в безопасных пределах ($<1,0$ мг/л). Концентрации нитратов (NO_3^-) стабильны и очень близки во всех опытных группах (4,28 - 4,41 мг/л) и соответствуют среднему контролю (4,35 мг/л). Достоверных различий между вариантами не наблюдается.

Уровень нитратов - низкий и безопасный (норма $<10,0$ мг/л). В результате проведённого анализа установлено, что параметры водной среды по всем исследуемым показателям не выходили за границы референтных значений.

Выводы по разделу: установлено, что на протяжении всего эксперимента условия содержания молоди тилляпии по всем контролируемым параметрам водной среды поддерживались в пределах оптимальных и безопасных значений. Средние значения температуры (27,8–28,1 °C), растворенного кислорода (5,5–5,9 мг/л) и уровня pH (7,2–7,3 ед.) находились в рекомендованных для вида диапазонах, обеспечивая комфортную физиологическую среду; показано, что все группы, включая контрольную и опытные, характеризовались статистически однородными и стабильными условиями; незначительный размах вариации (низкие значения стандартного отклонения и коэффициента вариации) по температурному режиму ($<0,7\%$), pH ($<2,0\%$) и содержанию кислорода ($<11\%$) свидетельствует о высокой степени контроля за средовыми факторами; выявлено, что концентрации токсичных соединений азотного обмена (аммиак, нитриты, нитраты) во всех вариантах опыта были существенно ниже предельно допустимых норм.

Наблюдаемые незначительные колебания в уровнях аммиака (от 0,13 до 0,19 мг/л) и нитритов (от 0,38 до 0,43 мг/л) не выходят за рамки биологической стабильности системы и не представляют угрозы для здоровья рыб.

Таким образом, экспериментальные условия были стандартизированы и исключают существенное влияние различий в температуре, газовом режиме, pH и качестве воды на исследуемые показатели роста и физиологического состояния рыб. Полученные в дальнейшем результаты продуктивности и эффективности использования корма у молоди тилапии в опытных группах могут быть с высокой долей достоверности отнесены на счет действия специфических факторов опыта (например, состава рациона), а не различий в условиях содержания. Результаты оценки рыб по размерно-массовым и физиологическим показателям представлены в таблице 3.2.8.

Таблица 3.2.8. Гематологические и цитохимические показатели, n = 5

Показатели	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Масса тела, г	208,6	201,7	226,0	228,1	225,4	248,7	188,7
Ht, %	58,8	55,1	56,0	63,2	64,9	62,4	54,7
m	7,5	7,7	5,7	10,3	14,1	9,7	7,5
Cv, %	25,5	28,1	17,7	32,5	37,7	31,1	23,7
Эритрограмма, %							
Зрелые эритроциты	96,2	93	95	96,5	96	96	91,7
Лейкоцитарная формула, %							
Базофилы	3	0	1	0	1	1	0
Моноциты	1	4	8	7	8	7	1
Лимфоциты	92,7	91	85	90	88	86	87
Лизосомально-катионный тест							
СЦК, ед.	1,52	1,98	1,5	1,01	1,5	1,7	1,14

Примечание: а, б, в, г, д, е, ё – разность достоверна по критерию Стьюдента (P0,05)

Анализ данных выявил различия между группами по ключевым показателям. Наибольшая средняя масса тела зафиксирована в 6 группе (248,7 г), тогда как наименьшая в 7 группе (188,7 г). Гематокрит (Ht), отражающий густоту крови, варьировал от 54,7% (7 группа) до 64,9% (5 группа), что может указывать на различия в кислородтранспортной функции. Количество зрелых эритроцитов в эритрограмме было стабильно высоким во всех группах (91,7–96,5%), свидетельствуя о нормальном ходе эритропоэза. В лейкоцитарной

формуле доминировали лимфоциты (85–92,7%), что типично для рыб. При этом наблюдались колебания в уровнях моноцитов (1–8%) и базофилов (0–3%). Значения лизосомально-катионного теста (СЦК), важного показателя неспецифической резистентности организма, находились в диапазоне от 1,01 до 1,98 усл. ед., демонстрируя разную степень активности фагоцитарных клеток в исследуемых группах. Все регистрируемые показатели находились в пределах физиологической нормы для рыб. Значения гематокрита свидетельствуют о тенденции повышения показателя с уровнем введения аминокислот по сравнению с контролем и группами 2,3 и 7. Разность не достоверна. Наиболее высокое содержание зрелых эритроцитов в эритрограмме, отмечено у рыб 1, 3-6 групп, следовательно, эритропоэз менее интенсивный. Доля незрелых клеток у рыб всех групп, кроме 7-й достаточно невысока. Вероятно, это связано с накоплением массы на фоне менее интенсивного метаболизма и обновления клеточного состава тканей. В лейкоцитарной формуле преобладают лимфоциты. Однако по мере увеличения дозы аминокислот — начиная со второй группы — их число относительно контроля снижается на 1,7–7,7%. Результаты лизосомально-катионного теста показали, что СЦК изучаемых рыб находилось в пределах физиологической нормы. У рыб второй и шестой групп показатель был довольно высоким, возможно это связано с адаптацией к бактериальному фону, к увеличению антигенной нагрузке или ее отсутствию. В таблице 3.2.9 приведены данные об удельном расходе кислорода (УРК, мг/кг·час) и соответствующих энергозатратах (кДж/час) у тилляпии в контрольной и опытных группах. Наибольший уровень метаболизма был зарегистрирован в группе 4, где УРК составил $195,0 \pm 17,9$ мг/кг·час, что на 19,6% превысило показатель контрольной группы (1К, принятый за 100%). Наименьшее потребление кислорода отмечено в группе 3 ($141,0 \pm 2,9$ мг/кг·час), что на 13,5% ниже контроля. Показатели остальных групп варьировали в диапазоне, близком к контрольному значению ($163,0 \pm 10,4$ мг/кг·час): от 90,8% (5 группа) до 104,9% (6 группа) от контроля.

Таблица 3.2.9. Удельный расход кислорода (УРК ₊₂₈) O₂ мг/кг час опытной тилляпии

Показатель	Группа						
	1К	2	3	4	5	6	7
М ±м	163,0±10, 4	159,0±10, 6	141,0±2,9	195,0±17, 9	148,0±4,6	171,0±7,2	156,0±1,4
% к 1К	100	97,5	86,5	119,6	90,8	104,9	95,7
Энерго - траты, кДж в час	2,32 ^{в,г}	2,26 ^{в,г}	2,00 ^{а,г,ё}	2,77 ^д	2,10 ^{г,е}	2,42 ^{в,г}	2,21 ^{г,е}

Примечание: а, б, в, г, д, е, ё, – разность достоверна по критерию Стьюдента (P≤0,05)

Рассчитанные на основе УРК энерготраты закономерно повторяли данную динамику, изменяясь от 2,00 кДж/час (3 группа) до 2,77 кДж/час (4 группа). Выполненные исследования показали, что введение аминокислот существенно изменяет интенсивность расхода кислорода при выращивании тилляпии. Максимальное значение получено в 4 группе, +19,6% по сравнению с контролем. Однако разность достоверна по сравнению только с вариантом 5. Соответственно с увеличением расхода кислорода увеличиваются и энерготраты, что характерно для более быстрорастущих рыб. Эта зависимость прослеживается и в варианте 6.

Таким образом, установлено, что все исследуемые режимы ввода аминокислот обеспечивают сохранение физиологического статуса тилляпии в пределах нормы. Показано следующее: аминокислотные добавки модулируют уровень метаболизма. Наибольший стимулирующий эффект установлен в 4-й группе (+19,6% к контролю по УРК). Выявлена корреляция между повышенным расходом кислорода, ростом энерготрат и стабильными показателями кроветворения, что характерно для состояния с усиленными пластическими процессами. Показано, что изменения носят адаптационный характер (нормальный СЦК, стабильная лейкограмма), что подтверждает перспективность применения аминокислот для управления продуктивностью.

3.3. Изучение влияния уровня изолейцина в комбикорме на рост и продуктивность Нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus*) (второй научно-хозяйственный опыт).

3.3.1. Продуктивные показатели

В рамках второго научно-хозяйственного опыта динамика роста тилляпии изучалась на протяжении 184 дней, разделенных на пять технологических (или возрастных) этапов выращивания. Фактическое содержание сырого протеина в контрольном рационе составило 33,10%. Остальные шесть рационов были близки к этому значению с учётом погрешности измерения и различались лишь добавлением незаменимых аминокислот с разветвлённой боковой цепью. В ходе второго эксперимента масса тилляпии достигала: в контроле — 238,10 г, во второй группе — 229 г, в третьей — 262,8 г, в четвёртой — 282,7 г, в пятой — 284,8 г, в шестой — 288,8 г, в седьмой — 301,8 г.

Добавление основных разветвлённых аминокислот сильнее всего сказалось на интенсивности роста рыб в первые четыре фазы второго эксперимента — на этапе окончательного формирования пищеварительной системы. Выживаемость на обеих фазах опыта составила 100%. Основные ростовые показатели приведены в таблице 3.3.1.1.

Максимальный абсолютный прирост зафиксирован в четвёртой группе с добавкой 30% изолейцина — 40,7 г; он превысил показатели как контроля, так и всех остальных опытных групп. Минимальным прирост оказался в первой группе — 30,4 г. Введение 10% изолейцина во второй группе подняло абсолютный прирост на 21% относительно контроля (с 30,40 до 36,90 г/шт.), а среднесуточный прирост увеличился на 0,16 г/шт. по сравнению с контрольной группой. При добавлении 10% и 20% изолейцина в 2-ой и 3-ой группы соответственно показало практически идентичные результаты (36,90 против 36,80 г/шт.), что может свидетельствовать о насыщении эффекта на этом уровне. Добавление 20% изолейцина не дало дополнительного эффекта.

Таблица 3.3.1.1. – Показатели роста теляпии на первом этапе выращивания

Показатель	Группа							
		1к	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут,	1	40	40	40	40	40	40	40
Средняя масса рыбы, г	7,60	38,00	44,50	44,40	48,30	45,60	39,60	42,50
Абсолютный прирост, г/шт.	-	30,40	36,90	36,80	40,70	38,00	32,00	34,90
Среднесуточный прирост, г/сут.	-	0,76	0,92	0,92	1,02	0,95	0,80	0,87
Среднесуточный прирост, %	-	3,33	3,54	3,54	3,64	3,57	3,39	3,48
Км (Коэффициент массонакопления)	-	0,104	0,118	0,118	0,125	0,120	0,108	0,114
Относительная скорость роста, %	-	4,11	4,52	4,51	4,73	4,58	4,21	4,40

Максимальный эффект наблюдался в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина, а абсолютный прирост составил 40,70 г/шт. (увеличение на 34% по сравнению с контрольной группой и на 10,32% и 10,60% по сравнению с 2-3 ой группами соответственно). Самый высокий среднесуточный прирост (г/шт) был зафиксирован у рыбы с добавлением изолейцина в количестве 30%, достигнув 1,02 г/шт. При добавлении 10% и 20% изолейцина в 2-ой и 3-ой группы среднесуточный прирост увеличился на 21% по сравнению с контрольной группой.

В четвёртой группе с 30% изолейцина среднесуточный прирост оказался на 34,2% выше контрольного. Увеличение среднесуточный прирост, % подтверждает более интенсивное развитие животных, причем наибольший прирост наблюдался в четвертой группе, превышая контрольную группу примерно на 0,31 процентных пункта, или около 9,3%. Коэффициент массонакопления отражает эффективность набора массы прибавка Км в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина составила 20,2% по сравнению с контролем и на 5,9% по сравнению с 2-ой и 3-ой группами с добавками 10% и 20% изолейцина соответственно. Значение Км стабильно возрастает с увеличением доли изолейцина, особенно на 30%. Относительная скорость роста демонстрирует аналогичную тенденцию: рост увеличивается на ~15% в 4-ой группе по сравнению с контрольной группой, а также остаётся высоко стабильным в группах 2 и 3.

Максимальный прирост наблюдается в 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина составил 38 г по сравнению с контрольной 30,4, и в 6-ой и 7-ой группы составили 32 г и 34,92 г соответственно (увеличение на 25% по сравнению с контрольной группой и на 5,3% и 14,8% по сравнению с 6-ой и 7-ой группами соответственно). При добавлении лейцина (группы 6 и 7) прирост снижается, что может указывать на нарушение аминокислотного баланса при избытке. Средний суточный прирост (г/шт.) был самым высоким в 5-ой группе и составил 0,95 г/шт., затем снизился в 6-ой и 7-ой группах с добавлением лейцина до 0,80 г/шт. и 0,87 г/шт. соответственно. Это подтверждает, что избыток лейцина может привести к снижению эффективности роста. Лучший результат среднесуточного прироста, % в 5-ой группе и составил 3,57% по сравнению с контрольной 3,33%. В 6-ой и 7-ой группы составили 3,39 % и 3,48 % соответственно, что подтверждает оптимальное сочетание 20% изолейцина и 20% валина. Добавление 40% лейцина не улучшает продуктивность.

Максимальный коэффициент массонакопления отмечен у 5-ой группы и составил 0,120% по сравнению с контрольной 0,104% и в шестой и седьмой группах значения составили 0,108% и 0,114% соответственно — это указывает на оптимальную усвояемость и энергетическую эффективность добавки без лейцина.

Относительная скорость роста выросла во всех опытных группах. Заметнее всего — в пятой: 4,58% против 4,11% в контроле. В шестой и седьмой группах показатель составил 4,21% и 4,40% соответственно, затем показатель вновь снижается при добавке лейцина.

Для оценки эффективности добавок аминокислот был проведён второй этап эксперимента.

В таблице 3.3.1.2. представлены важнейшие показатели роста телят в разных экспериментальных группах с различным содержанием изолейцина, валина.

Таблица 3.3.1.2. – Показатели роста тилапий на втором этапе

Показатель	Группа						
	1к	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут,	20	20	20	20	20	20	20
Средняя масса рыбы начальная, г	49,4	53,1	55,9	59,6	55,9	51,1	46,7
Средняя масса рыбы конечная, г	75,60	73,46	92,00	94,70	98,43	89,32	75,38
Абсолютный прирост, г/шт.	26,20	20,36	36,10	35,10	42,53	38,22	30,68
Среднесуточный прирост, г/сут.	1,31	1,02	1,81	1,76	2,13	1,91	1,53
Среднесуточный прирост, %	2,10	1,61	2,44	2,27	2,76	2,72	2,55
Км (Коэффициент массонакопления)	0,084	0,064	0,103	0,098	0,119	0,114	0,101
Относительная скорость роста, %	2,15	1,64	2,52	2,34	2,87	2,83	2,65

Максимальный абсолютный прирост отмечен в пятой группе, получавшей 20% изолейцина и 20% валина, — 42,53 г против 26,20 г в контроле и показателей остальных опытных групп. Наименьшим прирост был во второй группе — 20,36 г. Введение 20–30% изолейцина в третьей и четвертой группах также дало заметный абсолютный прирост — 36,10 г и 35,10 г соответственно. При добавке 10% изолейцина (2-ая группа) дала отрицательный эффект снижение прироста на 22,3%, что может указывать на дисбаланс аминокислот при недостаточной дозе.

Наибольшей абсолютный прирост, г/шт. был зафиксирована у рыбы с добавкой изолейцина на уровне 20% и 30% в 3-ой и 4-ой группе, составил 36,10 г и 35,10 соответственно по сравнению с контрольными 26,20 г, а у рыбы с добавкой изолейцина на уровне 10% прирост снизился и составил 20,36г, возможно, из-за дисбаланса аминокислот или недостаточной дозы. Максимальный эффект наблюдался в 3-ой группе при добавлении 20% изолейцина, а абсолютный прирост составил 36,10 г/шт. Увеличил прирост на 37,8% по сравнению с контролем и на 77,3% и 2,85% по сравнению с 2-ой и 4-ой группами соответственно). Самый высокий среднесуточный прирост (г/шт) был зафиксирован у рыбы с добавлением изолейцина в количестве 20% (3-ая группа), достигнув 1,81г/шт. При добавлении 30% изолейцина в 4-ой группе среднесуточный прирост увеличился на 34,4% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20% изолейцина в 3-ую группу среднесуточный

прирост увеличился на 38,2% по сравнению с контрольной группой. В группе с добавлением 10% изолейцина прирост оказался на 22,1% ниже контроля.

Увеличение среднесуточного прироста, % подтверждает более интенсивное развитие животных, причем наибольший прирост наблюдался в 3-ой группе, превышая контрольную группу примерно на 0,34 процентных пункта, или около 9,3%. Коэффициент массонакопления отражает эффективность набора массы: прибавка Км в 3-ой группе при добавлении 20% изолейцина составила 22,6% по сравнению с контролем и на 60,9% по сравнению с 2-ой группой с добавками 10% и на 5,1% по сравнению с 4-ой группами с добавкой 30% изолейцина. Значение Км стабильно возрастает с увеличением доли изолейцина, особенно на 20 %. Относительная скорость роста демонстрирует аналогичную тенденцию: рост увеличивается на 17,2% в 3-ой группе по сравнению с контрольной группой, и на 45,5 % по сравнению с 2-ой группой с добавками 10% и на 7,7% по сравнению с 4-ой группой с добавками 30% изолейцина.

Абсолютный прирост массы (г/шт.) показывает, насколько увеличилась масса рыб в каждой группе за определённый период. Контрольная группа (без добавок) показала прирост 26,20 г, что служит базовым уровнем для сравнения. В 5-ой группе получила добавку 20% изолейцина и 20% валина, которая обеспечила максимальный эффект прирост составил 42,53 г, что на 62,3% выше, чем в контроле. Это свидетельствует о высокоэффективном воздействии добавки на рост. В 6-ой группе показала прирост 38,22 г (на 45,9% выше, чем в контроле). Несмотря на положительный эффект, результат ниже, чем у 5-ой группы, что связывают с добавлением лейцина, которое частично снизило эффективность. В 7-ой группе достигла прироста 30,68 г (на 17,1% выше, чем в контроле). При этом результат хуже, чем в 5-ой и 6-ой группах. Это объясняется переизбытком аминокислот, что привело к снижению продуктивности. Среднесуточный прирост (г/шт.) отражает, сколько граммов массы прибавлялось в среднем в сутки у рыб. Вмешательств показала прирост 1,31 г/шт., это базовый уровень. В 5-ой группе достигла 2,13 г/шт., что

увеличился на 62,6% по сравнению с контрольной группой это оптимальный результат, указывающий на эффективное влияние добавки на рост. В шестой группе значение составило 1,91 г/шт., что на 45,8% выше контроля. Положительный эффект сохраняется, но выражен слабее, чем в пятой группе. Вероятно, лейцин ограничил эффективность добавки. В седьмой группе показатель равнялся 1,53 г/шт. — на 16,8% выше контроля, однако это наименьший результат среди опытных групп. Причиной, по-видимому, стал избыток аминокислот, отрицательно сказавшийся на росте. Среднесуточный прирост %, показывает относительное увеличение массы животных за сутки. Контрольная группа имела прирост 2,10%, служащий отправной точкой для анализа. Группа 5 обеспечила наибольший прирост массы в относительных значениях, что подтверждает оптимальное действие добавки. В 5-ой группе продемонстрировала прирост 2,76%, что на 0,66 % пункта (п.п.) выше контроля. Это наибольший результат, указывающий на высокую эффективность используемой кормовой добавки. В 6-ой группе достигла прироста 2,72 %, что на 0,62 пункта (п.п.) выше контроля, чуть ниже 5 группы, вероятно, из-за влияния лейцина, который ограничил прирост. В 7-ой группе результат 2,55 %, что на 0,45 пункта (п.п.) выше контроля, наименьший прирост среди экспериментальных групп. Это объясняется переизбытком аминокислот, который негативно сказался на темпах роста.

Наибольший прирост среднесуточной массы дала пятая группа (20% изолейцина и 20% валина): +31,4% к контролю. Добавление к той же комбинации 40% лейцина — шестая группа — ослабило эффект до +29,5%. В седьмой группе, где вводили 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина, превышение над контролем составило 21,4%. Коэффициент массонакопления (Км) отражает эффективность использования корма насколько рацион способствует приросту массы животных. Чем выше значение Км, тем лучше рыба усваивает питательные вещества из корма.

Контрольная группа показала Км 0,084 это базовый уровень эффективности без добавок. В пятой группе показатель достиг 0,119 — на

41,7% выше контроля. Это лучший результат, говорящий о максимальной эффективности корма при сбалансированном составе добавок. В шестой группе он составил 0,114, что на 35,7% выше контроля: эффективность высока, но уступает пятой группе, вероятно, из-за умеренного содержания лейцина. В седьмой группе значение равнялось 0,101 — на 20,2% выше контроля, и это худший результат среди опытных групп. Это объясняется переизбытком лейцина, который снизил усвояемость корма. Чем выше содержание лейцина, тем хуже коэффициент массонакопления. Например, 7-ая группа проигрывает 5-ой группе на 17,5%, что подчёркивает негативное влияние избытка отдельных аминокислот на эффективность кормления.

Наибольший Км зафиксирован в 5-ой группе, что подтверждает эффективность сбалансированного состава кормовой добавки. Повышение доли лейцина (6-ая и 7-ая группы особенно) снижает усвоение корма, ухудшая прирост массы. Это доказывает важность точного количества аминокислот для рационального кормления. Относительная скорость роста (%) показывает, насколько быстро увеличивается масса животных относительно их исходной массы. Это важный показатель динамики роста. Контрольная группа имела относительную скорость роста 2,15% минимальный уровень, без влияния добавок. Пятая группа дала 2,87% — на 33,5% выше контроля. Это наибольший результат, указывающий на эффективное влияние добавки на рост. В шестой группе показатель составил 2,83%, что на 31,6% выше контроля, то есть несколько ниже, чем в пятой. Незначительное снижение может быть связано с присутствием лейцина. В седьмой группе он равнялся 2,65% — на 23,3% выше контроля, но это самый низкий результат среди экспериментальных групп. Отставание от 5-ой группы составляет 10,2%, что указывает на негативное влияние переизбытка лейцина на динамику роста. Группа 5 вновь демонстрирует лучшие показатели, что подтверждает оптимальный состав используемой добавки.

Добавление лейцина в умеренных дозах (6-ая группа) немного снижает темпы роста, а его переизбыток (7-ая группа) ещё сильнее тормозит динамику

развития. Это подчёркивает важность сбалансированного аминокислотного состава для поддержания высокой скорости роста рыб. Умеренное добавление изолейцина и валина даёт наибольший прирост. Лейцин при больших дозах снижает эффективность. Наибольшая динамика роста достигается без добавления лейцина. Его избыток (7-ая группа) снижает темп роста на 10,2% по сравнению с 5-ой группой. Эффективность кормов максимальна при умеренном добавлении изолейцина и валина, избыток лейцина ухудшает Км. Добавка лейцина не улучшает, а снижает прирост в процентах, особенно при его переизбытке. Оптимальное сочетание изолейцина и валина (без лейцина) даёт максимальный прирост массы в сутки. Результаты третьего этапа выращивания тилляпий по показателям массы и прироста представлены в таблице 3.3.1.3.

Таблица 3.3.1.3. – Динамика роста тилляпии на третьем этапе выращивания

Показатель	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут.	27	27	27	27	27	27	27
Средняя масса рыбы начальная, г	76,7	70,5	85,8	93,1	88	84,1	78,7
Средняя масса рыбы конечная, г	124,70	105,70	140,10	152,10	151,20	150,00	122,30
Абсолютный прирост, г/шт.	48,00	35,20	54,30	59,00	63,20	65,90	43,60
Среднесуточный прирост, г/сут.	1,78	1,30	2,01	2,19	2,34	2,44	1,61
Среднесуточный прирост, %	1,77	1,48	1,78	1,78	1,96	2,09	1,61
Км (Коэффициент массонакопления)	0,083	0,066	0,087	0,090	0,098	0,104	0,075
Относительная скорость роста, %	1,82	1,51	1,83	1,83	2,02	2,17	1,65

На третьем этапе исследования оценивалось влияние добавок аминокислот на рост рыб. Результаты показали, что третья группа, получавшая 20% изолейцина, достигла прироста в 54,30 г, что выше, чем в контрольной группе (48,00 г). При этом наибольший абсолютный прирост — 59,00 г — зафиксирован в группе с 30% изолейцина; не исключено, что именно

эта доза оптимальна. Во второй группе добавка 10% изолейцина снизила прирост до 35,20 г, что могло быть следствием аминокислотного дисбаланса. Влияние различного количества изолейцина на абсолютный прирост показало следующую динамику во 2-ой группе при добавлении 10% изолейцина наблюдалось снижение абсолютного прироста на 26,7% до 35,20 г против исходных 48,00 г, а в 3-ой группе при добавлении 20% изолейцина зафиксирован рост показателя на 13,1%, достигнув значения 54,30 г, а в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина прирост достиг максимума, увеличившись на 22,9% до 59,00 г.

При добавке 30% и 20% изолейцина в 4-ой и 3-ой группе рыбы показали самый высокий средний суточный прирост 2,19 г и 2,01г, по сравнению с контрольной группой 1,78 г. Добавка 10% изолейцина во 2-й группе привело к снижению показателя до 1,30 г, что ниже контрольного значения. При добавлении 10% изолейцина (2-я группа) среднесуточный прирост составил 1,30 г, что ниже показателя контроля на 27,0%. При добавлении 20% изолейцина (3-я группа) прирост достиг 2,01 г, что превышает результат контрольной группы на 12,9%. При добавлении 30% изолейцина (4-я группа) зафиксирован прирост в 2,19 г, демонстрирующий наивысший результат на 23,0% выше контроля. При оценке среднесуточного прироста в процентах от начальной массы результаты групп, получавших изолейцин, по сравнению с контрольной группой (1,77%), где во 2-ой группе при добавке 10% изолейцина показатель составил 1,48%, что на 16,4% ниже контроля. В 3-ой и 4-ой группе при добавке 20% и 30% изолейцина показатели составили 1,78%, что практически эквивалентно контролю (разность -0,6%). Анализ относительной скорости роста (%) в группах с добавками изолейцина, по сравнению с контрольной группой (1,82%), при добавлении 10% изолейцина в 2 группе показатель составил 1,51%, что на 17,0% ниже контроля, а в 3 и 4 группе при добавлении 20% и 30% изолейцина составил 1,83%, что максимально близко к результату контрольной группы.

Сравнение коэффициента массонакопления (K_m) с контрольной группой (0,083) выявило зависимость от количества изолейцина. Во 2-ой группе с 10% добавкой (0,066) значение K_m было на 20,5% ниже контрольного. Увеличение доли изолейцина до 20% привело к росту K_m на 4,8% (0,087), а максимальное значение показателя, превысившее контроль на 8,4%, было достигнуто при 30% добавке (K_m 0,090). Сравнивая группы (5-ой, 6-ой, 7-ой) и контрольную группу, результаты показали, что самый высокий прирост массы был в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина, достигнув 65,9г. При добавлении 20% изолейцина и 20% валина (5-ая группа) привело к значительному увеличению абсолютного прироста, г/шт., оцениваемому в 63,2 г. Введение 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина (шестая группа) дало небольшое превышение над пятой группой — 65,9 г. Дальнейшее увеличение доз всех трёх аминокислот до 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина (седьмая группа) снизило абсолютный прирост, г/шт., относительно пятой и шестой групп. Это позволяет предполагать избыточное или разбалансированное питание.

В 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина привело к значительному увеличению абсолютный прирост, г/шт., на 31,7% по сравнению к контролю. В 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина увеличению абсолютного прироста, г/шт., на 37,3% по сравнению к контролю. В 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина вызывало увеличение абсолютного прироста, г/шт., на 9,2% по сравнению к контролю. В 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина среднесуточный прирост (г/шт) ставил 2,34 г/шт., выше на 31,5%, что в контроль. Наибольшая эффективность по среднесуточному приросту (г/шт.) наблюдается в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина составило 2,44 г/шт., по сравнению с контрольной группой, которая достигла 1,78 г/шт., что превышает контрольный показатель на 37,1%. Пятая группа, получавшая 20% изолейцина и 20% валина, и седьмая группа с 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина

достигли 2,34 г/шт. и 1,61 г/шт. соответственно. Иными словами, сочетание умеренных доз изолейцина, валина и лейцина оказалось наиболее эффективным. При добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина (седьмая группа) среднесуточный прирост достиг 1,61 г/шт., что на 9,6% ниже результата контрольной группы, и ниже в группах 5 и 6, избыток аминокислот, вероятно, привел к метаболическому стрессу, что снизило темпы роста. Наибольшая эффективность коэффициента массонакопления Км. в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина достигла 0,104%, по сравнению с контрольной группой, которая достигла 0,083 %, и по сравнению с 5-ой и 7-ой группой достигли 0,098 % и 0,075 % соответственно.

При добавлении 20% изолейцина и 20% валина в 5-ой группе (Км) составил 0,098%, увеличившись на 18,1% по сравнению с контрольной группой (0,083%). При добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина в 6-ой группе Коэффициент массонакопления (Км) составил 0,104%, увеличившись на 25,3% по сравнению с контрольной группой (0,083%). При добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина в 7-ой группе Коэффициент массонакопления (Км) составил 0,075%, снизившись на 9,6% по сравнению с контрольной группой (0,083%). При добавлении 20% изолейцина и 20% валина в 5-ой группе относительная скорость роста (%) составила 2,02%, увеличившись относительная скорость роста на 11% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина в 6-ой группе относительная скорость роста (%) составила 2,17 %, увеличившись относительная скорость роста (%) на 19,2% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина в 7-ой группе он составил 1,65%, снижение относительной скорости роста (%) на 9,3 % по сравнению с контрольной группой. В таблице 3.3.1.4. представлены результаты четвертого этапа эксперимента по изучению влияния различных комбинаций аминокислот (изолейцина, валина и лейцина) на рост телят. Группа 1 является контрольной (без добавки), что позволяет оценить эффективность экспериментальных рационов.

Таблица 3.3.1.4. – Результаты роста тилапии по итогам четвертого этапа выращивания.

Показатель	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут,	46	46	46	46	46	46	46
Средняя масса рыбы начальная, г	122,7	110	137,1	144,5	137,7	151,2	117,3
Средняя масса рыбы конечная, г	190,00	169,10	211,00	215,20	231,20	251,80	177,60
Абсолютный прирост, г/шт,	67,30	59,10	73,90	70,70	93,50	100,60	60,30
Среднесуточный прирост, г/сут.	1,46	1,28	1,61	1,54	2,03	2,19	1,31
Среднесуточный прирост, %	0,94	0,92	0,92	0,85	1,10	1,09	0,89
Км (Коэффициент массонакопления)	0,051	0,048	0,052	0,048	0,063	0,064	0,047
Относительная скорость роста, %	0,96	0,94	0,94	0,87	1,13	1,11	0,91

Третья группа, получавшая 20% изолейцина, достигла самого высокого прироста (73,90 г), что указывает на то, что это количество является оптимальной. Добавление 10% и 30% изолейцина во вторую и четвертую группы снизило прирост до 70,70 и 59,10 г соответственно, и по сравнению с контрольной группой (67,30 г), возможно, из-за аминокислотного дисбаланса. При добавлении 10 % изолейцина во вторую группу он составил 59,10г, снижение абсолютного прироста на 12,2% (хуже, чем в контрольной группе).

При добавлении 20 % изолейцина во 3-ой группу он составил 73,90 г, увеличение абсолютного прироста на 9,8% по сравнению с контрольной группой (лучший результат). В четвертой группе с добавлением 30% изолейцина абсолютный прирост достиг 70,70 г, что на 5,1% превышает контрольный показатель. Оптимальная доза – при добавке 20% изолейцина. В этой группе рыбы показали наибольший прирост массы (73,90 г), чем в контроле. Добавки 10% изолейцина ухудшили результат. Возможно, слишком мало или слишком много изолейцина нарушает баланс аминокислот в организме, из-за чего рост замедляется. При добавке 20% изолейцина в третьей группе рыбы показали самый высокий средний суточный прирост (1,61 г), по сравнению с контрольной группой (1,46 г). Добавка 10% изолейцина во второй группе ухудшила результат: среднесуточный прирост составил 1,28 г — на 12,4% ниже контроля. В третьей группе с 20% изолейцина

он достиг 1,61 г, превысив контроль на 10,3% и оказавшись лучшим среди опытных вариантов. Четвёртая группа с 30% изолейцина дала 1,54 г, что на 5,8% выше контроля. Иначе выглядит картина по относительному среднесуточному приросту (%). Во второй группе (10% изолейцина) он составил 0,92% — на 2,1% ниже контроля. Третья группа (20% изолейцина) показала те же 0,92% при снижении на 2,1%. В четвёртой группе (30% изолейцина) значение опустилось до 0,85%, что на 42,4% ниже контрольного.

Контрольная группа показывает лучший относительный прирост, но при добавлении 10 % и 20% изолейцина близок к ней. При добавлении 10 % изолейцина во вторую группу относительная скорость роста (%) составила 0,94%, снижение относительной скорости роста на 2,1% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20 % изолейцина в третью группу относительная скорость роста (%) составила 0,94 %, снижение относительной скорости роста (%) на 2,1% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 30% изолейцина в четвертую группу он составил 0,87%, снижение относительной скорости роста (%) на 9,4 % по сравнению с контрольной группой. При добавлении 10 % изолейцина во вторую группу (Км) составил 0,048%, снижение (Км) на 5,9% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20 % изолейцина в третью группу (Км) составил 0,052 %, увеличение на 2% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 30% изолейцина в четвертую группу он составил 0,048 %, снижение (Км) на 5,9 % по сравнению с контрольной группой. Сравнивая группы 5-ую, 6-ую, 7-ую и контрольную группу, результаты показали, что самый высокий прирост массы был в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина, достигнув 100,6 г.

При добавлении 20% изолейцина и 20% валина (5-ая группа) привело к значительному увеличению абсолютного прироста, г/шт., оцениваемому в 93,50 г. В шестой группе (20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) абсолютный прирост немного превысил показатель пятой группы и составил 100,60 г. Дальнейшее повышение доз всех трёх аминокислот до 40%

изолейцина, 40% валина и 40% лейцина (седьмая группа) снизило абсолютный прирост до 60,30 г/шт. — ниже значений пятой и шестой групп. Подобная динамика может свидетельствовать об избыточном или разбалансированном питании. В 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина привело к значительному увеличению абсолютного прироста, г/шт., на 38,9% по сравнению с контролем. В 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина наблюдение увеличение абсолютного прироста, г/шт., на 49,5 % по сравнению с контролем. В 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина снижению абсолютного прироста (г/шт.), на 10,4% по сравнению с контролем. К 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина среднесуточный прирост (г/шт.) ставило 2,03г/шт. Наибольшая эффективность среднесуточного прироста (г/шт.) наблюдается В 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина составило 2,19 г/ш, по сравнению с контрольной группой, которая достигла 1,46 г/ш, и по сравнению с 5-ой группой , которая добавляла 20% изолейцина и 20% валина и 7-ой группой , которая добавляла 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина достигла 2,03 г/ш и 1,31 г/шт. соответственно, где сочетание умеренных доз изолейцина, валина и лейцина дало лучший результат.

В 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина среднесуточный прирост (г/шт.) составило 1,31 г/шт., что было ниже, чем в контрольной группе и группах 5 и 6, избыток аминокислот, вероятно, привел к метаболическому стрессу, что снизило темпы роста. В пятой группе (20% изолейцина и 20% валина) среднесуточный прирост превысил контрольный на 39%. Добавление к этой композиции 40% лейцина (шестая группа) усилило эффект: превышение над контролем составило 50%. Иная картина в седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина): среднесуточный прирост оказался на 10% ниже контрольного.

Коэффициент массонакопления (Км) в контроле составил 0,051%. В пятой группе он достиг 0,063%, что на 23,5% выше контроля; в шестой — 0,064%, выше на 25,5%. В седьмой группе Км равнялся 0,047% — минимальное значение. Умеренное сочетание изолейцина и валина, дополненное лейцином, дало наибольший эффект, тогда как максимальные дозы всех трёх аминокислот его снизили. При добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина в 7-ой группе коэффициент массонакопления (Км) составил 0,053%, снизившись на 7,8% по сравнению с контрольной группой (0,051%). При добавлении 20% изолейцина и 20% валина в 5-ой группе относительная скорость роста (%) составила 1,13%, увеличив относительную скорость роста на 17,7% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина в 6-ой группе относительная скорость роста (%) составила 1,11 %, увеличив относительную скорость роста (%) на 15,6% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина в 7-ой группе он составил 0,91%, снижение относительной скорости роста (%) на 5,2 % по сравнению с контрольной группой. В таблице 3.3.1.5. приведены показатели роста тилляпии на пятом этапе выращивания в зависимости от состава кормовых добавок.

Таблица 3.3.1.5. – Динамика роста тилляпии в пятый этап выращивания

Показатель	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут,	51	51	51	51	51	51	51
Средняя масса рыбы начальная, г	190,0	169,1	211,0	215,2	231,2	251,8	177,6
Средняя масса рыбы конечная, г	238,1	229	262,8	282,7	284,8	288,8	301,8
Абсолютный прирост, г/шт,	48,10	59,9	51,80	67,50	53,6	37,0	124,2
Среднесуточный прирост, г/сут.	0,94	1,17	1,02	1,32	1,05	0,73	2,44
Среднесуточный прирост, %	0,44	0,59	0,43	0,53	0,41	0,27	1,02
Км (Коэффициент массонакопления)	0,026	0,035	0,027	0,033	0,026	0,017	0,064
Относительная скорость роста, %	0,44	0,60	0,43	0,54	0,41	0,27	1,05

В 4-ой группе, получавшей 30% изолейцина, достигли самый высокий прирост (67,50 г), что указывает на то, что эта количество является

оптимальной. Добавление 10% и 20% изолейцина во 2-ой и 3-ой группы снизило прирост до 51,80 и 59,90 г соответственно, и по сравнению с контрольной группой (48,10 г), возможно, из-за аминокислотного дисбаланса. При добавлении 10 % изолейцина во 2-ую группу он составил 59,90г, увеличение абсолютного прироста на 24,5 %. При добавлении 20 % изолейцина в 3-ью группу он составил 51,80 г, увеличение абсолютного прироста на 7,7% по сравнению с контрольной группой (лучший результат).

В четвёртой группе с добавкой 30% изолейцина абсолютный прирост достиг 67,50 г — на 40,3% выше контроля. Оптимальная доза – при добавке 30% изолейцина. В этой группе рыбы показали наибольший прирост массы (67,50 г), чем в контроле и другие группы. При добавлении 10 % изолейцина во вторую группу он составил 1,17 г, увеличение среднесуточный прирост на 24,5% по сравнению с контрольной группой. При добавке 20% изолейцина в 3-ой группе рыбы показали самый высокий средний суточный прирост (1,32 г), по сравнению с контрольной группой (0,94 г). В третьей группе добавка 20% изолейцина обеспечила среднесуточный прирост 1,02 г — на 8,5% выше контроля, что стало лучшим результатом. При 30% изолейцина (четвёртая группа) показатель достиг 1,32 г, превысив контроль на 40,4%. Иначе выглядит относительный среднесуточный прирост: во второй группе с 10% изолейцина он составил 0,59%, что на 34,1% выше контрольного значения. При добавлении 20 % изолейцина в 3-ой группе среднесуточный прирост (%) составил 0,43 %, снижение среднесуточный прирост на 2,3% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 30% изолейцина в 4-ой группе он составил 0,53 %, увеличение среднесуточного прироста на 20,5 % по сравнению с контрольной группой. Контрольная группа показывает лучший относительный прирост по сравнению с 3-ой группой. При добавлении 10 % изолейцина во 2-ой группе относительная скорость роста (%) составила 0,60%, увеличение относительная скорость роста на 36,4% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20 % изолейцина во третью группу относительная скорость роста (%) составила 0,43 %, почти не отличается от

контроля (0,43%), что может указывать на порог насыщения или ингибирующий эффект. При добавлении 30% изолейцина в четвертую группу он составил 0,54%, увеличение относительной скорости роста (%) на 10 % по сравнению с контрольной группой. При добавлении 10 % изолейцина во вторую группу (Км) составил 0,035%, увеличение (Км) на 34,6% по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20 % изолейцина в 3-ой группе (Км) составил 0,027 %, увеличение на 3,8 % по сравнению с контрольной группой. При добавлении 30% изолейцина в четвертую группу он составил 0,033 %, снижение (Км) на 26,9 % по сравнению с контрольной группой. Сравнивая группы 5, 6, 7 и контрольную группу, результаты показали, что самый высокий прирост массы был в 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина, достигнув 124,20 г. При добавлении 20% изолейцина и 20% валина (5-ая группа) привело к значительному увеличению абсолютного прироста, г/шт., оцениваемому в 53,60 г. Однако увеличение количества всех аминокислот до 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина (6-ая группа) привело к снижению абсолютного прироста достигнув 37,00 г/шт., по сравнению с 5-ой и 7-ой группами, что может указывать на избыточное или несбалансированное питание. В 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина привело к значительному увеличению абсолютного прироста, г/шт., на 11,4% по сравнению к контролю. В 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина снижению абсолютного прироста, г/шт., на 23,1 % по сравнению с контролем. В 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина наблюдали увеличению абсолютного прироста (г/шт.), на 158,2% по сравнению к контролю. В пятой группе (20% изолейцина и 20% валина) среднесуточный прирост составил 1,05 г/шт., что на 11,7% выше контроля (0,94 г/шт.). Добавление к этой композиции 40% лейцина (шестая группа) дало обратный эффект: прирост опустился до 0,73 г/шт. — на 22,3% ниже контроля и ниже показателя пятой группы. Наибольший среднесуточный прирост зафиксирован в седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) — 2,44 г/шт., что превышает

контроль на 159,6%. Наибольшая эффективность коэффициента массонакопления Км отмечена в 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина достигла 0,064%. При добавлении 20% изолейцина и 20% валина в 5-ой группе Км составил 0,026%, не меняется— добавка не влияет на усвоение корма по сравнению с контрольной группой (0,026%). При добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина в 6-ой группе коэффициент массонакопления (Км) составил 0,017%, снизившись на 34,6% по сравнению с контрольной группой (0,026%). При добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина в 7-ой группе коэффициент массонакопления (Км) составил 0,064%, увеличение на 146,2% по сравнению с контрольной группой (0,026%). При добавлении 20% изолейцина и 20% валина в 5-ой группе относительная скорость роста (%) составила 0,41 %, снизившись, относительная скорость роста на 6,8 % по сравнению с контрольной группой. При добавлении 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина в 6-ой группе относительная скорость роста (%) составила 0,27 %, снизившись относительная скорость роста (%) на 38,6 % по сравнению с контрольной группой. При добавлении 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина в 7-ой группе он составил 1,05 %, увеличение относительной скорости роста (%) на 138,6 % по сравнению с контрольной группой. Эффективность применения аминокислотных добавок в кормлении тилляпии оценивалась во второй опыте выращивания. Как видно данных таблицы, все ключевые параметры роста (абсолютный и среднесуточный прирост, относительная скорость роста) варьировались в зависимости от состава смеси аминокислот, что позволило выявить наиболее перспективные варианты.

Выводы по разделу: установлено, что добавление в корма разветвленных аминокислот (изолейцина, валина и лейцина) оказывает значительное влияние на ростовые показатели тилляпии. Наибольший стимулирующий эффект наблюдается при оптимизированных количествах и комбинациях. Показано, что эффективность воздействия зависит от дозы, вида аминокислот и этапа онтогенеза рыб: на ранних этапах выращивания (1 этап)

оптимальной была доза изолейцина в 30% от базового уровня, обеспечившая максимальный абсолютный (40,70 г) и среднесуточный (1,02 г/сут.) прирост. На последующих этапах (2–4 этапы) наиболее сбалансированным и эффективным оказался комплекс из 20% изолейцина и 20% валина (вариант 5), а также комбинация 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина (вариант 6). Эти рационы стабильно обеспечивали наивысшие значения абсолютного прироста, коэффициента массонакопления K_m и относительной скорости роста. На завершающем этапе (5 этап) экстремально высокий прирост показала группа 7 (40% всех трех аминокислот). Однако данный результат, вероятно, обусловлен спецификой финальной стадии откорма и требует дополнительной проверки на воспроизводимость, так как противоречит тенденциям, выявленным на предыдущих этапах. Выявлено, что влияние аминокислот имеет нелинейный характер: изолейцин демонстрирует четкую дозозависимую эффективность. Добавка 10% часто оказывается недостаточной или даже ухудшает показатели по сравнению с контролем, что указывает на важность преодоления порогового значения для проявления эффекта. Лейцин проявляется амбивалентное действие. В высоких дозах (варианты 6 и 7 на большинстве этапов) его добавление нередко снижает ростовые показатели, эффективность использования корма и K_m — по сравнению с комбинациями, включавшими только изолейцин и валин. Это свидетельствует о возможном нарушении аминокислотного баланса и антагонизме между разветвленными аминокислотами при избытке лейцина.

Таким образом, результаты подтверждают высокую эффективность оптимизации аминокислотного состава кормов за счет добавок изолейцина и валина для интенсификации роста телят. Наибольшие результаты достигаются при использовании сбалансированных комбинаций, в то время как избыток, особенно лейцина, может оказывать ингибирующее действие. Полученные данные позволяют рекомендовать для практического применения в кормлении телят рационы с добавлением 20% изолейцина и 20% валина к базовому уровню.

3.3.2. Экстерьерные и интерьерные показатели тилляпии второй научно-хозяйственный опыт

В ихтиологии термин "интерьер" относится к внутренним морфофизиологическим признакам рыб, которые изучаются для оценки их здоровья, адаптации к среде и продуктивности.

Морфологическое профилирование рыб подразумевает систематический анализ и количественную оценку физических характеристик (формы, размера, структуры и других фенотипических признаков) для оценки биологических функций, здоровья, идентификации видов или реакций на условия окружающей среды/экспериментальные условия. В этом эксперименте изучалось влияние добавления различных уровней аминокислот в рацион на соотношение между ростом длины и массы нильской тилляпии. Результаты отражают изменения в экстерьере и интерьере морфометрических соотношений рыбы, оцененные путем анализа соотношения длины и массы. В таблице 3.3.2.1. показано изменение морфологических показателей у рыб разных групп.

Таблица-3.3.2.1. - Морфологические показатели рыб по группам, n = 5

Показатель	Группа						
	К	2	3	4	5	6	7
Порка	100/86,1	100,6	102,8	103,6	100,6	102,9	100,1
Тушка	100/57,9	105,4	106,4	110	108,8	109,8	105,7
Голова	100/12,5	112	80	114,4	101,6	109,6	112,8
Жабры	100/4,4	104,5	111,4	111,4	93,2	109,1	104,5
Чешуи	100/2,8	78,6	85,7	96,4	96,4	96,4	96,4
Кожа	100/4,2	100,6	100	90,5	97,6	100,5	97,6
Мышцы	100/32	98,7	101,9	106,2	103,1	105,3	105
Плавники	100/4	97,5	90	92,5	100	100	90

Показатели порки стабильны все значения около 100,1–103,6%. Наибольшее значение было в 4-ой и 6-ой и 3-ой группах составили 103,6% и 102,9% и 102,8% соответственно. Во всех группах, кроме 2-ой и 7-ой группе

составили 105,4% и 105,7% соответственно, наблюдается небольшое увеличение массы тушки, особенно у группы 4-ой и 6-ой (110% и 109,8%).

У всех опытных групп показано снижение в значении голове, наиболее выражено у групп 3-ой и 5-ой (80% и 101,6%) соответственно. Вероятно, произошло уменьшение размера или массы головы, что может быть результатом направленного роста тела за счёт головы. Значительное жабры увеличение жабр у групп 3-я и 4-я, и 6-я (111,4% и 111,4% и 109,1%) соответственно, что может свидетельствовать об активной функции дыхательной системы, возможно, как ответ на изменённые условия среды или метаболизма. В 5-ой группе снижение до 93,2%. Снижение значение кожи у опытных групп особенно низкие значения у групп 4-ой и 5-ой, и 7-ой (90,5% и 97,6% и 97,6%) соответственно. Максимальный прирост мышцы было у групп 4-ой (106,2%), наименьший у группы 2 -ой (98,7%). Это указывает на различия в наращивании мышечной массы: начальные варианты рост, финальные резкое снижение. Значения показателя плавники варьируются от 90% до 100%. У группа 5-я и 6-я наблюдается наибольший показатель (100%), но ровно с сравнительно к контролю. Рисунок 3.3.2.1. отображает изменение анатомических показателей рыб в экспериментальных группах в процентах от контроля. Значения выше 100% свидетельствуют об увеличении массы, ниже о снижении относительно контрольной группы.

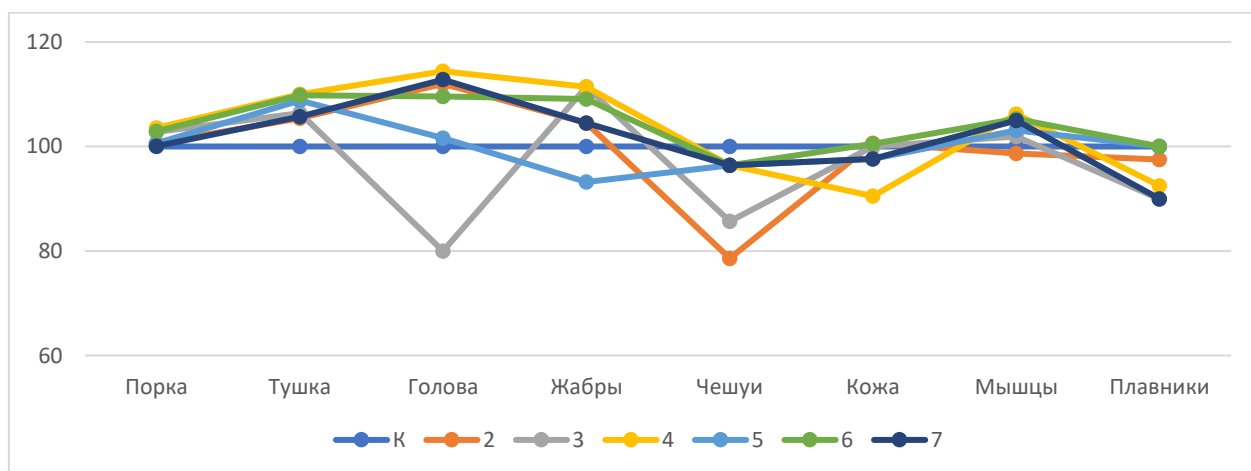


Рисунок -3.3.2.1-Сравнительная оценка анатомических показателей (%) у рыб в экспериментальных группах

В ихтиологии изучение интерьера (внутренних органов и тканей) позволяет оценить здоровье, физиологическое состояние и адаптацию рыб к условиям среды. В таблице 3.3.2.2. представлены морфологические показатели внутренних органов рыб, выраженные в процентах от общей массы тела. Данные представлены в виде таблицы по различным органам или тканям (сердце, селезёнка, печень, желудок, внутренний жир, гонады).

Таблица 3.3.2.2. Сравнительная морфометрия внутренних органов рыб в опытных группах (относительные показатели, % к контролю), n = 5

Показатель	Группа						
	К	2	3	4	5	6	7
Сердце	100/0,1	100	100	100	100	100	100
Селезёнка	100/0,3	100	133,3	100	100	166,7	133,3
Печень	100/1,7	70,6	88,2	70,6	82,4	94,1	123,5
Желудок	100/0,4	125	75	325	100	200	300
Рк.	100/3,8	81,6	73,7	105,3	73,7	68,4	107,9
Вн. жир	100/0,5	140	220	80	540	240	260
Гонады	100/4,5	42,2	64,4	46,7	57,8	44,4	51,1

Примечание: Сер: Сердце, Сел: селезёнка, Печ: печень, Желу: желудок, Рк: масса кишечника, Вн. жир: внутренний жир, Гон: гонады.

Сердце (Сер) все значения остаются на уровне контроля (100), показатель селезёнки (Сел) заметно варьировал: в третьей, шестой и седьмой группах он превышал контроль — 133,3%, 166,7% и 133,3% соответственно; в остальных группах значения не менялись.

Масса печени (Печ) в большинстве групп снижалась. Исключение составила седьмая группа, где, напротив, отмечен рост — до 123,5% от контроля. Резкий рост массы желудка было в (4-ой и 6-ой, и 7-ой) группе составила 325% и 200% и 300% соответственно в сравнении с контролем, а в 3-ой группе было снижение и составило 75%. Умеренные изменения массы кишечника (Рк), чаще снижение (особенно в 6-ой группе 68,4%). Количество внутреннего жира (Вн. жир) значительное увеличение почти во всех группах, особенно в 5-ой группе 540%. Гонады (Гон) отмечено наблюдалось снижение значительное во всех группах (максимальное было в 2-ой группе 42,2%). Наиболее выраженные изменения произошли во количестве внутреннего жира

(до 5 группа увеличения) и желудке (до 3 группа). Сердце почти не реагировало на воздействие. Гонады показали устойчивое снижение активности/функции.

На рисунке 3.3.2.2 представлены средние значения исследуемого показателя для контрольной (группа 1) и шести опытных групп (группы 2-7). Визуальный анализ позволяет оценить влияние экспериментальных факторов на изменение показателя в сравнении с контролем.

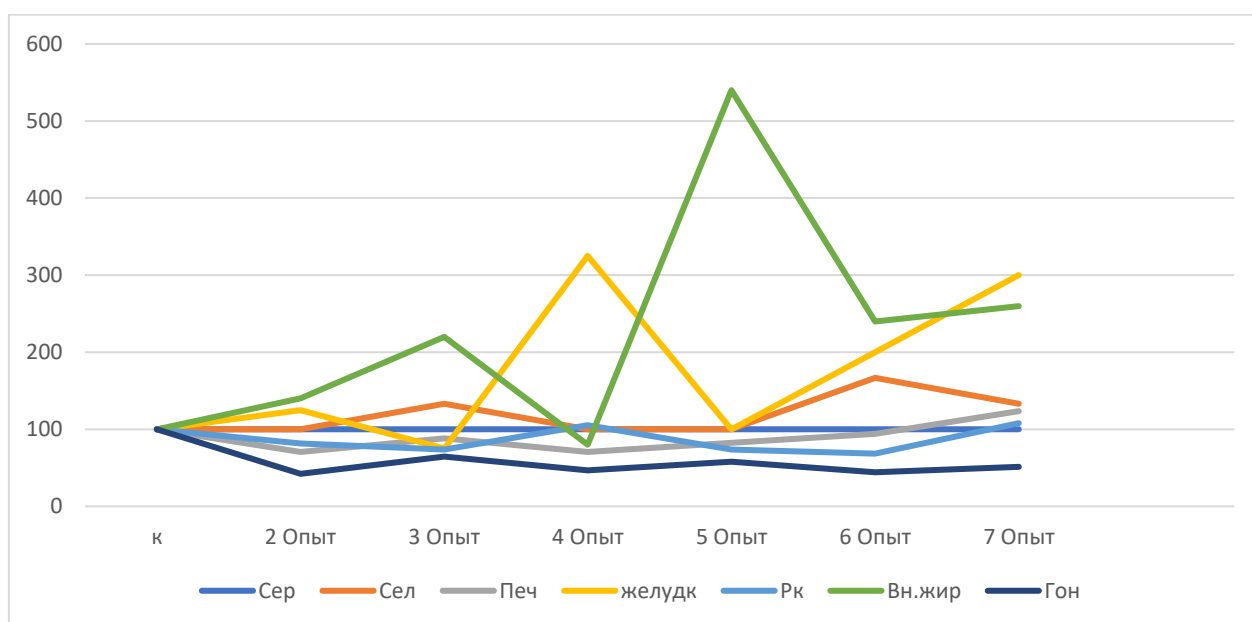


Рисунок 3.3.2.2. Динамика массы внутренних органов рыб в экспериментальных группах относительно контроля

Экстерьер в ихтиологии — это совокупность внешних морфологических признаков рыбы, измеряемых в абсолютных значениях (в см, г, мм и т.д.). Эти данные используются для оценки физического развития, здоровья и адаптации к среде. В таблице 3.3.2.3. предоставленные данные по морфометрии рыб в сравнительном аспекте. Все значения, за исключением контрольной группы (К), представлены в процентах от контроля (100%). В скобках в строке группы К указаны исходные абсолютные величины показателей. Наибольшая длина тела (l_{мал}) прирост в группах 3 и 7 (1,1% и 1,5%), остальные показатели ≈100% в 2-ой группе снижает на 1,5%, 6-я группа показывает значение, близкое к контролю (0,5%).

Таблица -3.3.2.3. - Морфометрические характеристики рыб в опытных группах, n = 5

Показатель	Группа						
	К	2	3	4	5	6	7
lмал	100/84,7	98,5	101,1	100	99,6	100,5	101,5
Lгол	100/ 25	90,4	92	94,4	92	93,2	96
H	100/32,2	98,8	99,7	101,2	108,4	94,7	105
h	100/11,8	95,8	95,8	97,5	105,9	105,9	105,1
Tт	100/16	93,1	91,9	92,5	97,5	98,8	97,5
Обх	100/78,8	97,8	98,7	99,5	107,5	106,3	106,1
Lтуш	100/ 61,5	102,3	104,7	103,3	104,9	105,7	106,3
L киш	100/520,1	101,0	89,7	106,2	115,3	97,0	107,2
Ky	100/2,0	95	100	95	115	105	110

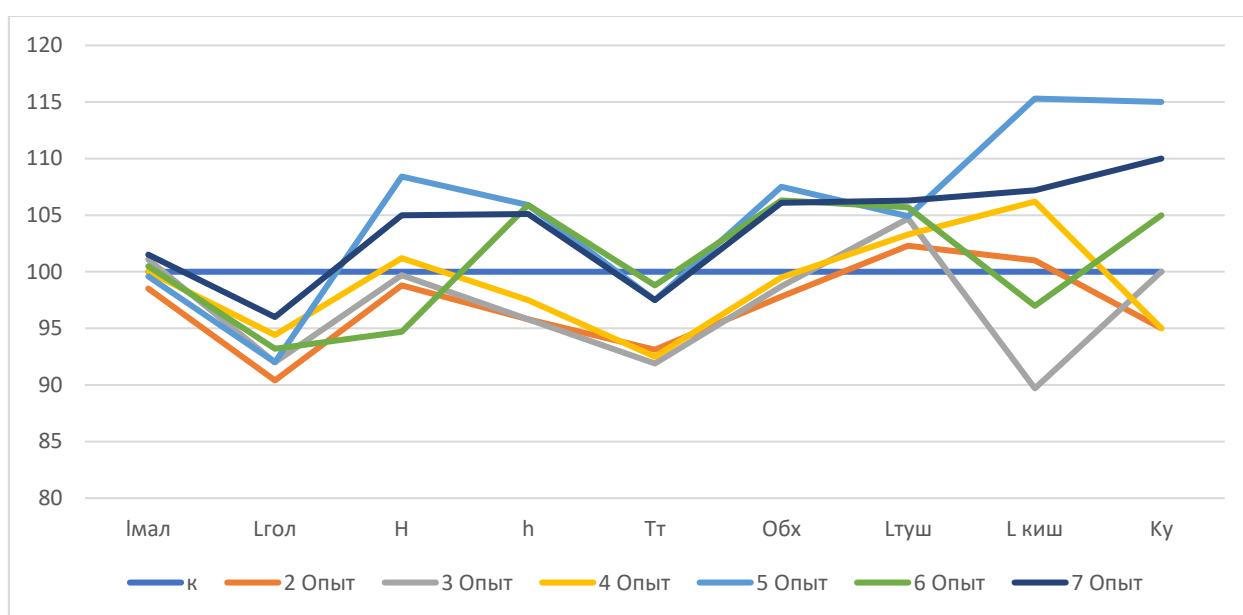
Примечание: lмал - длина тела, Lгол - длина головы, H - высота тела, h - высота хвостового стебля, Tт - толщина тела, Обх - обхват тела, Lтуш - длина тушки, Ky - коэффициент упитанности

Кормовые добавки групп 3 и 7 наиболее эффективны для стимуляции роста в длину. Длина головы (Lгол). Все группы показывают снижение (90,4-96%), минимальное в группе 2 (90,4%). Все добавки угнетают рост головы, особенно в группе 2. Наибольший результат: высота тела (H) у группы 5 и 7 составила 8,4% и 5% соответственно, снижение у группы 6 составило 5,3% по сравнению с контролем. Наибольшая высота тела (h) была в группах 5-7 составили 5,1% и 5,9% соответственно, в 2-ой и 4-ой группе снижение до 95,8%. Незначительная толщина тела (Tт) снижение толщины во всех группах, максимум в 6-ой группе составил 98,8%. Обхват тела (Обх) увеличение только в последних трех группах (5-ой и 6-ой, и 7-ой) 7,5% и 6,3% и 6,1% соответственно, остальные группы близки к контролю. Стабильный рост во всех группах длина туловища (Lтуш) от 2,3 до 6,3%, максимум в 7-ой группе увеличение 6,3 %. Лучший результат по длине кишечника у группы 5 увеличена на 15,3% - корм этой группы сильнее всего стимулирует развитие пищеварительной системы. Группа 4 показывает умеренный рост на 6,2% - нормальная реакция на корм.

Группа 3 вызывает тревогу снижает на 10,3% - такой корм ухудшает работу кишечника, возможно, содержит вредные компоненты или плохо

усваивается. Самый высокий коэффициент упитанности (K_u) был у рыбы группы 5, лидирует увеличена на 15%, корм идеально сбалансирован. Группа 7 на втором месте увеличена на 10% - хороший вариант, хотя и менее эффективный. Группа 2 снижает на 5% - корм недостаточно питательный или плохо усваивается.

На рисунке 3.3.2.3. Отбражены морфометрические показатели рыб в опытных группах в процентах относительно контроля.



Примечание: lмал - длина тела, lгол - длина головы, Н - высота тела, h - высота хвостового стебля, Тт - толщина тела, Обх - обхват тела, lтуш - длина тушки, K_u - коэффициент упитанности

Рисунок 3.3.2.3. Динамика морфометрических показателей рыб в опытных группах относительно контроля

На основании проведённого морфологического профилирования рыб, оценивавшего влияние различных комбинаций аминокислотных добавок на экстерьер и интерьер нильской тиляпии, можно сделать следующие выводы.

Установлено, что добавки оказывают избирательное влияние на формирование тела рыбы, приводя к перераспределению массы между органами и изменяя пропорции. Наиболее значимые изменения зафиксированы в относительной массе внутренних органов и тканей.

Наблюдаемый рост массы тушки (до 110% в группе 2) и мышц (до 105,3% в группе 6) свидетельствует об усилении мясной продуктивности, особенно в группах 2 и 6. Выявлено, что рационы, стимулирующие максимальный рост мышечной массы (группа 6), одновременно вызывают значительное увеличение относительной массы селезёнки (166,7%) и желудка (200%), что указывает на активацию метаболических и пищеварительных функций.

Вариант 5, показавший наибольшее увеличение длины кишечника (115,3%) и коэффициента упитанности (115%), а также рекордное накопление внутреннего жира (540%), демонстрирует стратегию, ориентированную на усиление пищеварения и энергетических запасов. Практически во всех опытных группах отмечено снижение относительной массы гонад (до 42,2% в группе 2), что может указывать на перераспределение ресурсов с репродуктивной функции на соматический рост в условиях откорма. Показано, что комбинация добавок в группе 6 (20% изолейцина, 20% валина, 40% лейцина) является одной из наиболее сбалансированных, обеспечивая значительный прирост массы тушки и мышечной ткани при умеренных изменениях внутренних органов, кроме селезёнки и желудка. В то же время, рацион группы 5 проявил исключительное влияние на развитие пищеварительной системы и накопление резервов. Таким образом, кормовые добавки на основе разветвлённых аминокислот являются действенным инструментом не только для увеличения продуктивности, но и для направленного изменения морфофизиологического статуса товарной телят, что необходимо учитывать при разработке целевых рационов для получения продукции с заданными свойствами.

3.3.3. Рыбоводно-биологические показатели

Для комплексной оценки эффективности применения кормовых добавок на основе аминокислот с разветвленной цепью в рационе телят необходим анализ рыбоводных показателей на протяжении всех пяти этапов выращивания. Результаты оценки рыбопродуктивности на первом этапе

выращивания приведены в таблице 3.3.3.1. При выращивании тилапии получавшими корм для рыб, содержащий различные уровни незаменимых аминокислот. Однако, в экспериментальных группах 2–7 наблюдалось увеличение конечной массы тела по сравнению с контролем на 6,5 г, 6,4 , 10,3 , 7,6 , 1,6 ги 4,5 г соответственно.

Таблица 3.3.3.1. – Рыбоводные показатели первого этапа

Показатель	Группа							
		1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут.	1	40	40	40	40	40	40	40
Средняя масса рыбы начальная, г	7,60	38,00	44,50	44,40	48,30	45,60	39,60	42,50
Количество, шт.	32	32	32	32	32	32	32	32
Израсходовано корма, г		2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050
Ихтиомасса, г	243	1216	1424	1421	1546	1459	1267	1360
Выживаемость, %	-	100	100	100	100	100	100	100
Прирост ихтиомассы, г	-	973	1181	1178	1302	1216	1024	1117
Процент к контролю		100	121,4	121,1	133,9	125,0	105,3	114,8
Выход ихтиомассы, кг / м ³ .	2,4	12,2	14,2	14,2	15,5	14,6	12,7	13,6
Процент к контролю		100	121,4	121,1	133,9	125,0	105,3	114,8
Расход корма, г/шт.	-	64,06	64,06	64,06	64,06	64,06	64,06	64,06
Суточный рацион, г/шт.	-	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Суточный рацион, %	-	7,02	6,15	6,16	5,73	6,02	6,79	6,39
Процент к контролю		100	87,6	87,7	81,6	85,7	96,7	91,0
Затраты корма, кг/кг	-	2,11	1,74	1,74	1,57	1,69	2,00	1,84
Затрата протеина г/кг	-	717,4	591,6	591,6	533,8	574,6	680,0	625,6
% к контролю		100	82,5	82,5	74,4	80,1	94,7	87,2
Прирост ихтиомассы, г / м ³ . в сут.	-	243,2	295,2	294,4	325,6	304	256	279,2
Кормовая нагрузка, г / м ³ . в сут.	-	512,5	512,5	512,5	512,5	512,5	512,5	512,5
Объем бассейна, м ³ .	0,1							

В 2-ой группе при добавлении 10% изолейцина увеличена средняя масса, г на 17,1%, в 3-ой группе при добавлении 20% изолейцина увеличена средняя масса, г на 16,8%, в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина увеличена средняя масса, г на 27,1%, в 5-ой группе при добавлении 20%

изолейцина и 20% валина увеличена средняя масса, г на 20%, в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина увеличена средняя масса, г на 4,2%, в 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина увеличена средняя масса, г на 11,8%. Максимальный прирост ихтиомассы, г было в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина составил 1302 г увеличена на 33,9% в сравнении с контролем 973 г. Самое низкое было в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина составило 1024 г, увеличение на 5,3% по сравнению с контролем 973 г. В 2-ой, 3-ой, 5-ой, 7-ой группах увеличен прирост ихтиомассы, % на 21,4, 21,1, 25, 14,8 соответственно в сравнении с контролем. Наивысший выход ихтиомассы, кг/м³ был в 4-ой при добавлении 30% изолейцина составил 15,5 кг/м³, увеличен на 27% в сравнении с контролем 12,2 кг/м³. Выход ихтиомассы, кг/м³ в 2-ой, 3-ой, 5-ой, 6-ой, 7-ой группе составили 14,2 кг/м³, 14,2, 14,6, 12,7, 13,6 кг/м³ соответственно, и увеличена его на 16,4%, 16,4%, 19,7%, 4,1%, 11,5% соответственно со сравнения к контролю 12,2 кг/м³. В 4-ой и 5-ой группах при добавлении 30% изолейцина и 20% изолейцин и 20% валин получены самые низкие затраты корма 1,57 кг/кг и 1,69 кг/кг соответственно и низкие протеина 533,8 г/кг и 574,6 г/кг соответственно. Добавление 10% и 20 и 30% изолейцина в 2-ой и 3-ой и 4-ой группах снижает затраты корма протеина на 17,5% и 17,5 и 25,6% соответственно в сравнении с контролем (в 4-ой группе дает максимальный прирост при минимальных затратах). При добавлении 20% изолейцина и 20% валина, 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина, и 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина в (5-ой, 6-ой, 7-ой) группах соответственно снижает затраты корма протеина на 19,9%, 5,2, 12,8%.

Данные по рыбопродуктивности на втором этапе выращивания представлены в таблице 3.3.3.2. В экспериментальном исследовании по выращиванию тилапии было установлено, что применение комбикормов с различными концентрациями аминокислот с разветвлённой цепью

способствует повышению скорости роста рыб. В результате это привело к увеличению выхода рыбной продукции в расчёте на единицу объёма (кг/м³).

Таблица 3.3.3.2. – Рыбоводные показатели выращивания тилапии на втором этапе

Показатель	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут.	20	20	20	20	20	20	20
Средняя масса рыбы начальная, г	49,4	53,1	55,9	59,6	55,9	51,1	46,7
Средняя масса рыбы конечная, г	75,60	73,46	92,00	94,70	98,43	89,32	75,38
Количество, шт.	25	25	25	25	25	25	25
Израсходовано корма, г	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
Ихтиомасса, г	1890	1837	2300	2368	2461	2233	1885
Выживаемость, %	100	100	100	100	100	100	100
Прирост ихтиомассы, г	655	509	903	878	1063	956	767
% к контролю	100	77,7	137,9	134	162,3	146	117,1
Выход ихтиомассы, кг / м³.	18,9	18,4	23,0	23,7	24,6	22,3	18,8
% к контролю	100	97,4	121,7	125,4	130,2	118	99,5
Расход корма, г/шт.	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00
Суточный рацион, г/шт.	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
Суточный рацион, %	4,48	4,42	3,79	3,63	3,63	3,99	4,66
% к контролю	100	98,7	84,6	81	81	89,1	104
Затраты корма, кг/кг	2,14	2,75	1,55	1,60	1,32	1,47	1,83
Затрата протеина г/кг	727,6	935	527	544	448,8	499,8	622,2
% к контролю	100	128,5	72,4	74,8	61,7	68,7	85,5
Прирост ихтиомассы, г / м³. в сут.	327,5	254,5	451,25	438,75	531,625	477,75	383,5
Кормовая нагрузка, г / м³. в сут.	700	700	700	700	700	700	700
Объем бассейна, / м³.	0,1						

Рыба тилапия достигла 100% выживаемости на протяжении всего испытания. Однако, было отмечено, что изменение концентрации аминокислот с разветвленной цепью в комбикормах не привело к значительному улучшению выживаемости рыб. В группах 3–6 конечная масса тела превысила контрольную на 16,4; 19,1; 22,8 и 13,7 г соответственно. Во

второй и седьмой группах, напротив, отмечено снижение — на 2,1 и 0,2 г. Во 2-ой группе при добавлении 10% изолейцина снижена средняя масса, г на 2,8%, в 3-ой группе при добавлении 20% изолейцина увеличена средняя масса, г на 21,7%, в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина увеличена средняя масса, г на 25,3%, в 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина увеличена средняя масса, г на 30,2 %, в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20 % валина и 40% лейцина увеличена средняя масса, г на 18,1%, в 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина снижена средняя масса, г на 0,3%. В 5-ой группе при добавлении 20% изолейцин и 20% валин была максимальный прирост ихтиомассы, г составил 1063 г что выше на 62,3% по сравнению с контролем 655 г. Самое низкое было во 2-ой группе при добавлении 10% изолейцина составило 509 г ниже на 22,3%. В 3-ой, 4-ой, 6-ой, 7-ой группах увеличен прирост ихтиомассы, % на 37,9, 34, 46, 17,1 соответственно.

Наивысший выход ихтиомассы, кг/м³ было в 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина составил 24,6 кг/м³, увеличен на 30,2% по сравнению с контролем 18,9 кг/м³. Выход ихтиомассы, кг/м³ в 3-ой, 4-ой, 6-ой группах составили 23кг/м³, 23,7, 22,3кг/м³, соответственно, и увеличив его на 21,7%, 25,4, 18%, соответственно в сравнении с контролем 12,2 кг/м³, а в 2-ой, 7-ой группе выход ихтиомассы, кг/м³ составили 18,4кг/м³ и 18,8 кг/м³ соответственно, и снижено его на 2,6% и 0,5% по сравнению с контролем 18,9 кг/м³. В 5-ой и 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина, и 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина получены самые низкие затраты корма 1,32 кг/кг и 1,47 кг/кг соответственно и низкие протеина 448,8 г/кг и 499,8 г/кг соответственно. Во 2-ой группе при добавлении 10% изолейцина выросли затраты корма и протеина на 28,5% — наименее эффективный вариант. При добавлении 20% и 30% изолейцина в 3-ой и 4-ой группе снижает затраты корма протеина на 27,6% и 25,2% соответственно в сравнении с контролем. При добавлении 20% изолейцина и 20% валина, 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина, и 40% изолейцина и 40% валина и

40% лейцина в 5-ой, 6-ой, 7-ой группах соответственно снижало затраты корма протеина на 38,3%, 31,3% и 14,5%. В таблице 3.3.3.3. приведены показатели производства рыбы на третьей стадии выращивания.

Таблица 3.3.3.3. – Рыбоводные показатели выращивания тилапии на третьем этапе

Показатель	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут.	27	27	27	27	27	27	27
Средняя масса рыбы начальная, г	76,7	70,5	85,8	93,1	88	84,1	78,7
Средняя масса рыбы конечная, г	124,70	105,70	140,10	152,10	151,20	150,00	122,30
Количество, шт.	20	20	20	20	20	20	20
Израсходовано корма, г	1870	1870	1940	1940	1940	1940	1870
Ихтиомасса, г	2494	2114	2802	3042	3024	3000	2446
Выживаемость, %	100	100	100	100	100	100	100
Прирост ихтиомассы, г	960	704	1086	1180	1264	1318	872
% к контролю	100	73,3	113,1	122,9	131,7	137,3	92,9
Выход ихтиомассы, кг / м ³ .	24,9	21,1	28,0	30,4	30,2	30,0	24,5
% к контролю	100	84,7	112,5	122,1	121,3	120,5	98,4
Расход корма, г/шт.	93,50	93,50	97,00	97,00	97,00	97,00	93,50
Суточный рацион, г/шт.	3,46	3,46	3,59	3,59	3,59	3,59	3,46
Суточный рацион, %	3,44	3,93	3,18	2,93	3,00	3,07	3,45
% к контролю	100	114,2	92,4	85,2	87,2	89,2	100,3
Затраты корма, кг/кг	1,95	2,66	1,79	1,64	1,53	1,47	2,14
Затрата протеина г/кг	663	904,4	608,6	557,6	520,2	499,8	727,6
% к контролю	100	136,4	91,8	84,1	78,5	75,4	109,7
Прирост ихтиомассы, г / м ³ . в сут.	355,56	260,74	402,22	437,04	468,15	488,15	322,96
Кормовая нагрузка, г / м ³ . в сут.	692,59	692,59	718,52	718,52	718,52	718,52	692,59
Объем бассейна, / м ³ .	0,1						

В группах 3–6 конечная масса тела превысила контрольную на 15,4; 27,4; 26,5 и 25,3 г соответственно. Во второй и седьмой группах она оказалась ниже контроля — на 19 и 2,4 г соответственно. Во 2-ой группе при добавлении 10% изолейцина ниже средняя масса на 15,2%, в 3-ой группе при добавлении

20% изолейцина выше средняя масса на 12,3%, в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина увеличена средняя масса на 22%, в 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина выше средняя масса, г на 21,3%, в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина выше средняя масса на 20,3%, в 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина ниже средняя масса на 1,9%. В 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина был максимальный прирост ихтиомассы, г составил 1318 г увеличен на 37,3% в сравнении с контролем 960 г. Самые ниже было в (2-ой и 7-ой) группе при добавлении 10% изолейцина и 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина составили 704 г и 872 г соответственно снижает на 26,7% и 9,2% соответственно со сравнения к контролю 960 г. В 3-ой, 4-ой, 5-ой группах увеличена прирост ихтиомассы, г на 13,1%, 22,9, 31,7% соответственно по сравнению с контролем 960 г.

Наивысший выход ихтиомассы, кг/м³ было в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина составил 30,4 кг/м³ увеличен на 22,1% по сравнению с контролем 24,9 кг/м³. Выход ихтиомассы, кг/м³ в 3-ой, 5-ой, 6-ой группах составил 28 кг/м³, 30,2, 30 кг/м³, соответственно, и увеличена его на 12,4%, 21,3%, 20,5, соответственно со сравнения к контролю 24,9 кг/м³, а в (2-ой, 7-ой) группе выход ихтиомассы, кг/м³ составили 21,1 кг/м³ и 24,5 кг/м³ соответственно, и снижено его на 15,3 % и 1,6 % со сравнения к контролю 24,9 кг/м³. В (6-ой и 5-ой) группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина, 20% изолейцина и 20% валина получены самые низкие затраты корма 1,47 кг/кг и 1,53 кг/кг соответственно и низкие конверсия протеина 499,8 г/кг и 520,2 г/кг соответственно. В (2-ой и 7-ой) группе при добавлении 10% изолейцина и 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина выросли затраты корма и протеина на 36,4 % и 9,7% наименее эффективный вариант.

Добавление 20% и 30% изолейцина в 3-ой и 4-ой группах снижает затраты корма протеина на 8,2% и 15,9% соответственно по сравнению с контролем. При добавлении 20% изолейцина и 20% валина, 20% изолейцина и

20% валина и 40% лейцина, и 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина в (5-ой, 6-ой) группе соответственно снижает затраты корма протеина на 21,5%, 24,6%. Результаты четвертого этапа, характеризующие выход рыбной продукции, отражены в таблице 3.3.3.4.

Таблица 3.3.3.4. – Рыбоводные показатели выращивания тилляпии на четвертом этапе.

Показатель	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут.	46	46	46	46	46	46	46
Средняя масса рыбы начальная, г	122,7	110	137,1	144,5	137,7	151,2	117,3
Средняя масса рыбы конечная, г	190,00	169,10	211,00	215,20	231,20	251,80	177,60
Количество, шт.	15	15	15	15	15	15	15
Израсходовано корма, г	2300	2300	2340	2340	2340	2340	2300
Ихтиомасса, г	2850	2537	3165	3228	3468	3777	2664
Выживаемость, %	100	100	100	100	100	100	100
Прирост ихтиомассы, г	1010	887	1109	1061	1403	1509	905
% к контролю	100	87,8	109,8	105	138,9	149,4	89,6
Выход ихтиомассы, кг / м ³	28,5	25,4	31,7	32,3	34,7	37,8	26,6
% к контролю	100	89,1	111,2	114,4	121,8	132,6	93,3
Расход корма, г/шт.	153,33	153,33	156,00	156,00	156,00	156,00	153,33
Суточный рацион, г/шт.	3,33	3,33	3,39	3,39	3,39	3,39	3,33
Суточный рацион, %	2,13	2,39	1,95	1,89	1,84	1,68	2,26
% к контролю	100	112,2	91,5	88,7	86,4	78,9	106,1
Затраты корма, кг/кг	2,28	2,59	2,11	2,21	1,67	1,55	2,54
Затрата протеина г/кг	775,2	880,6	717,4	751,4	567,8	527	863,6
% к контролю	100	113,6	92,5	96,9	73,2	68	111,4
Прирост ихтиомассы, г / м ³ . в сут.	219,45	192,72	240,97	230,54	304,89	328,04	196,63
Кормовая нагрузка, г / м ³ . в сут.	500	500	508,69	508,69	508,69	508,69	500
Объем бассейна, /м ³ .	0,1						

В группах 3–6 конечная масса тела превысила контрольную на 21 г, 25,2 г, 41,2 г и 61,8 г соответственно. Во второй и седьмой группах она оказалась ниже контроля — на 20,9 г и 12,4 г соответственно. Во 2-ой группе при

добавлении 10% изолейцина снижено средняя масса на 11%, в 3-ой группе при добавлении 20% изолейцина увеличена средняя масса на 11,1%, в 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина увеличена средняя масса, г на 13,3%, в 5-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина выше средняя масса на 21,7%, в 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина увеличена средняя масса, г на 32,5%, в 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина ниже средняя масса, г на 6,5%. В 6-ой группе включение 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина был максимальный прирост ихтиомассы, г составил 1509 г выше на 49,4% по сравнению с контролем 1010 г. Самые низкие был в (2-ой и 7-ой) группах при добавлении 10% изолейцина и 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина составили 887 г и 905 г соответственно снижает на 12,2% и 10,4% соответственно по сравнению с контролем 1010 г. В 3-ой, 4-ой, 5-ой группах выше прирост ихтиомассы, г на 9,8%, 5%, 38,9% соответственно по сравнению с контролем 1010 г. Наивысший выход ихтиомассы, кг/м³ было в 6-ой при добавлении 20% изолейцин и 20% валин и 40% лейцин составил 37,8 кг/м³ увеличена на 32,6% со сравнения к контролю 28,5 кг/м³. Выход ихтиомассы, кг/м³ в 3-ой, 4-ой, 5-ой группах составили 31,7 кг/м³, 32,3 кг/м³, 34,7 кг/м³, соответственно, и увеличена его на 11,2%, 13,3, 21,8%, соответственно со сравнения к контролю 28,5 кг/м³, а в (2-ой, 7-ой) группе выход ихтиомассы, кг/м³ составили 25,4 кг/м³ и 26,6 кг/м³ соответственно, и снижено его на 10,9 % и 6,7 % со сравнения к контролю 28,5 кг/м³.

В 5-ой и 6-ой группах при добавлении 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина, 20% изолейцина и 20% валина получены самые низкие затраты корма 1,55 кг/кг и 1,67 кг/кг соответственно и низкие конверсия протеина 527 г/кг и 567,8 г/кг соответственно. В (2-ой и 7-ой) группах при добавлении 10% изолейцина и 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина выросли затраты корма и протеина на 13,6 % и 11,4% – наименее эффективный вариант. При добавлении 20% и 30% изолейцина в 3-ой и 4-ой группе снижает затраты корма протеина на 7,5% и 3,1% соответственно по сравнению с контролем.

При добавлении 20% изолейцина и 20% валина, и 20% изолейцина и 20% валина и 40% лейцина, в 5-ой, 6-ой группах соответственно ниже затраты корма протеина на 26,8 %, 32%. В таблица 3.3.3.5. содержит данные о продуктивности рыб на пятом этапе выращивания.

Таблица 3.3.3.5. – Рыбоводные показатели выращивания тилапии на завершающем (пятом) этапе.

Показатель	Группа						
	1	2	3	4	5	6	7
Продолжительность опыта, сут.	51	51	51	51	51	51	51
Средняя масса рыбы начальная, г	190,00	169,10	211,00	215,20	231,20	251,80	177,60
Средняя масса рыбы конечная, г	238,1	229	262,8	282,7	284,8	288,8	301,8
Количество, шт.	10	10	10	10	10	10	10
Израсходовано корма, г	1415	1415	1415	1720	1720	1720	1560
Ихтиомасса, г	2381	2290	2628	2827	2848	2888	3018
Выживаемость, %	100	100	100	100	100	100	100
Прирост ихтиомассы, г	481	599	518	675	536	370	1242
% к контролю	100	124,5	107,7	140,3	111,4	76,9	258,2
Выход ихтиомассы, кг / м ³	23,8	22,9	26,3	28,3	28,5	28,9	30,2
% к контролю	100	96,2	110,5	118,9	119,7	121,4	126,9
Расход корма, г/шт.	141,50	141,50	141,50	172,00	172,00	172,00	156,00
Суточный рацион, г/шт.	2,77	2,77	2,77	3,37	3,37	3,37	3,06
Суточный рацион, %	1,30	1,39	1,17	1,35	1,31	1,25	1,28
% к контролю	100	106,9	90	103,8	100,8	96,2	98,5
Затраты корма, кг/кг	2,94	2,36	2,73	2,55	3,21	4,65	1,26
Затрата протеина г/кг	999,6	802,4	928,2	867	1091,4	1581	428,4
% к контролю	100	80,3	92,9	86,7	109,2	158,2	42,9
Прирост ихтиомассы, г / м ³ . в сут.	94,31	117,45	101,57	132,35	105,09	72,55	243,53
Кормовая нагрузка, г / м ³ . в сут.	277,45	277,45	277,45	337,26	337,26	337,26	305,88
Объем бассейна, / м ³ .	0,1						

Максимальный прирост ихтиомассы отмечен в седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) — 1242 г, что на 158,2% выше контроля (481 г). Минимальным этот показатель был в шестой группе (20%

изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) — 370 г, на 23,1% ниже контроля. Во 2-ой, 3-ой, 4-ой, 5-ой группах вышел прирост ихтиомассы, г на 24,5%, 7,7, 40,3, 11,4% соответственно по сравнению с контролем 481 г.

Наивысший выход ихтиомассы, кг/м³ был в 7-ой при добавлении 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина составил 30,2 кг/м³, что выше на 26,9% по сравнению с контролем 23,8 кг/м³. Выход ихтиомассы, кг/м³ в 3-ой, 4-ой, 5-ой, 6-ой группах составил 26,3 кг/м³, 28,3, 28,5, 28,9 кг/м³, соответственно, и увеличена его на 10,5%, 18,9, 19,7, 21,4%, соответственно по сравнению с контролем 23,8 кг/м³, а во 2-ой группе выход ихтиомассы, кг/м³ составили 22,9 кг/м³, и ниже его на 3,8 %. В седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) затраты корма и протеина оказались самыми низкими — на 57,1% ниже контроля. В шестой группе (20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) они выросли на 58,2% относительно контроля, в пятой (20% изолейцина и 20% валина) — на 9,2%. При добавлении 10% и 20% и 30% изолейцина в (2-ой, 3-ой, 4-ой) группах ниже затраты корма и протеина на 19,7% и 7,1 и 13,3% соответственно по сравнению с контролем. Кормовая нагрузка постоянна (133,3 г/м³/сутки) во всех вариантах опыта, несмотря на одинаковую нагрузку, результаты роста разные, что показывает влияние состава корма: наибольший рост в 2-ой группе при добавлении 30% изолейцина при той же кормовой нагрузке. Худший рост в 3-ей группе (несбалансированные ВСАА). Оптимальная эффективность использования корма достигнута в 2-ой группе при добавлении 30% изолейцина. Постоянная кормовая нагрузка исключает влияние количества корма на результаты, позволяя объективно оценить качество кормовых смесей. Для повышения продуктивности нужно оптимизировать состав корма, а не увеличивать его количество.

Выводы по разделу: установлено, что применение кормовых добавок на основе разветвленных аминокислот (ВСАА) оказывает значительное и комплексное влияние на рыбоводно-биологические показатели выращивания тилляпии на всех этапах онтогенеза. Эффективность воздействия сильно

варьирует в зависимости от состава добавки и стадии роста рыбы. Показано, что по итогам всего производственного цикла наивысшую общую продуктивность продемонстрировали две стратегии кормления: в 6 группе рацион с добавлением 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина обеспечил лучшие результаты на 2, 3 и 4 этапах выращивания, показав максимальные или близкие к максимальным значения по приросту ихтиомассы (до 49,4%), выходу продукции с единицы объема (до 37,8 кг/м³) и минимальным затратам корма (до 1,55 кг/кг). Это указывает на его высокую эффективность для основной фазы откорма. В 7 группе рацион с максимальным уровнем всех трех аминокислот (по 40%) проявил исключительную эффективность на завершающем 5 этапе, обеспечив рекордный прирост ихтиомассы (158,2%) и наименьшие затраты корма (1,26 кг/кг). Это свидетельствует о его уникальной способности интенсифицировать ростовые процессы на заключительной стадии. Выявлено, что эффективность добавок носит выраженный возрастно-дозозависимый характер: ранние этапы (1,2) наиболее эффективной была моно-добавка изолейцина в дозе 30% (группа 4), обеспечивавшая максимальный прирост. Средние этапы (3, 4) оптимальными стали комплексные добавки (группы 5 и 6), сочетающие изолейцин и валин с лейцином или без него. Заключительный этап (5) максимальный эффект показала высокодозовая комплексная добавка (группа 7). Определено, что рационы с низкими (10% изолейцина группа 2) или несбалансированными дозами (группа 3 на ряде этапов) последовательно показывали результаты на уровне или ниже контроля по приросту биомассы и экономичности кормления, подтверждая важность точного количества и баланса ВСАА.

Таким образом, для достижения максимальной продуктивности в условиях полного цикла выращивания тилапии рекомендовано применять дифференцированную схему кормления: на ранних стадиях (сеголетки) использовать рацион с добавкой 30% изолейцина. В основной период откорма (товарная рыба) переходить на рацион с комбинацией 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина. На финальной стадии откорма (за 1-2 месяца до

реализации) применять рацион с высоким уровнем всех ВСАА (по 40% каждого) для максимальной интенсификации роста. Такая поэтапная оптимизация аминокислотного состава корма позволяет существенно повысить выход рыбной продукции с единицы объема, улучшить затраты корма и, как следствие, увеличить общую экономическую эффективность производства.

3.3.4. Химический состав мышечной ткани тилапии

Мышечная ткань тилапии отличается сложным химическим составом: белки, небелковые азотистые соединения, липиды, минеральные вещества и вода. Основную питательную ценность этого продукта определяет высокое содержание протеина с полноценным набором заменимых и незаменимых аминокислот. Это позволяет классифицировать белок мяса тилапии как полноценный. В таблице 3.3.4.1 представлены данные о химическом составе биомассы и средней массе товарных особей тилапии по завершении эксперимента для семи групп (1, контроль «к») что позволяет провести комплексную оценку влияния рациона на качество продукции и эффективность роста.

Влажность тушки колебалась в пределах 74,2–74,8%, доля абсолютно сухого вещества (АСВ) — 25,2–25,8%; статистически по группам эти показатели не различались. По-видимому, экспериментальные факторы не оказывали заметного влияния на гидратацию мышечной ткани товарной рыбы. Содержание белка в пересчёте на натуральную влажность (НВ) менялось от 19,3% в контроле до 21,9% в четвёртой группе.

Максимальные значения, достоверно превышающие контроль, зафиксированы в группах 3, 4 и 6. В пересчёте на абсолютно сухое вещество (АСВ) данный показатель наиболее релевантен, так как исключает влияние влаги.

Таблица 3.3.4.1 - Химический состав мышечной ткани телят, n = 5

Показатель	Группа						
	к	2	3	4	5	6	7
М.д. влаги. натуральной (НВ)	74,3 ±0,35	74,2± 0,32	74,6± 0,36	74,4± 0,40	74,5± 0,38	74,7± 0,37	74,8± 0,36
М.д. абсолютно сухого вещества (АСВ = СВ * (1 - W/100))	25,7 ±0,39	25,8± 0,41	25,4± 0,42	25,6± 0,45	25,5± 0,41	25,3± 0,40	25,2± 0,38
М.д. сырого протеина (N ₂ *6.25) на (НВ)	19,3 ±0,26	19,6± 0,28	19,8± 0,29	21,9± 0,27 ^{а,б,в}	20,4± 0,24 ^а	21,3± 0,26 ^{а,б,д}	20,1± 0,28 ^{г,е}
М.д. сырого протеина на АСВ	75,1 ±0,23	75,97± 0,26 ^а	78,0± 0,21 ^{а,б}	78,5± 0,29 ^{а,б}	80± 0,21 ^{а,б,в,г}	84,19± 0,19 ^{а,б,в,г,д}	79,8± 0,24 ^{а,б,в,г,е}
М.д. сырого жира на НВ	1,7 ±0,14	1,5± 0,13	2,2± 0,16 ^{а,б}	2,0± 0,12	1,9± 0,16	1,6± 0,14 ^б	2,1± 0,16 ^{б,е}
М.д. сырого жира на АСВ	6,61 ±0,13	5,81± 0,21 ^а	8,66± 0,19 ^{а,б}	7,81± 0,18 ^{а,в}	7,45± 0,14 ^{а,в}	6,32± 0,17 ^{в,г,д}	8,33± 0,15 ^{а,б,д,е}
М.д. сырой золы	1,42 ±0,06	1,40± 0,07	1,41± 0,11	1,52± 0,05	1,57± 0,09	1,49± 0,08	1,48± 0,09

Примечание: а, б, в, г, д, е, ё, – разность достоверна по критерию Стьюдента ($p \leq 0,05$)

Наблюдается выраженный градиент увеличения белковой концентрации в сухом веществе, в 6-ой группе, что свидетельствует о максимальной эффективности используемого в ней рациона для белкового анаболизма. В пересчёте на НВ значения жирности были низкими (1,5–2,2%) и варьировали между группами без выраженной закономерности. Наибольшая жирность отмечена в группах 3 и 7. В пересчёте на АСВ наиболее высокое содержание жира в органической массе зафиксировано в 3 группе (8,66%) и группе 7 (8,33%). В 6 группе-лидере по протеину этот показатель был одним из самых низких (6,32%), что может указывать на иной вектор метаболизма. Доли минеральных веществ во всех группах были сопоставимы и находились в узком диапазоне 1,40–1,57%, что указывает на стабильность минерального обмена. Анализ взаимосвязи выявляет две различные стратегии эффективного выращивания: Стратегия 1 (группа 6 абсолютный лидер) максимальная конечная масса (251,8 г) сочетается с рекордным накоплением белка в сухом веществе (84,2%) при относительно низком содержании жира. Это указывает на оптимальный для роста баланс питательных веществ в рационе и его высокую усвояемость. Стратегия 2 (группы 3, 4, 5) хорошая продукционная масса (211–231 г) обеспечивается за счёт сбалансированного увеличения как

протеина, так и жира в биомассе. Группы с низкой эффективностью (2 и 7) несмотря на удовлетворительный химический состав (особенно в группе 7), эти группы показали наименьшую конечную массу (169,1 г и 177,6 г), что свидетельствует о том, что применённые в них режимы не стимулировали ростовые процессы, а возможно, оказывали подавляющее действие.

Результаты эксперимента демонстрируют, что различные рационы оказали существенное влияние на качественный состав биомассы и конечную продуктивность тилипии. Наиболее эффективным с точки зрения комплексного результата (максимальный прирост массы + максимальное качество белка) оказался рацион группы 6. Рационы групп 3, 4 и 5 также показали высокую эффективность, обеспечив значительное увеличение массы и улучшение питательной ценности мяса по сравнению с контролем. Рационы групп 2 и 7 не способствовали увеличению продукционной массы, несмотря на потенциально благоприятные изменения в химическом составе (особенно в группе 7), что делает их применение нецелесообразным для товарного выращивания. Контрольный рацион уступил лучшим опытным вариантам по всем ключевым показателям. Оптимизация аминокислотного и питательного профиля рациона (группа 6) является критически важной для одновременного достижения высоких темпов роста и получения продукции с повышенным содержанием высококачественного белка.

Установлено, что оптимизация аминокислотного состава корма за счет введения разветвленных аминокислот оказывает значимое влияние на химический состав мышечной ткани и продуктивность товарной тилипии. Наиболее эффективные рационы обеспечивают не только увеличение конечной массы, но и улучшение питательной ценности филе. Показано, что экспериментальные рационы привели к формированию двух различных метаболических стратегий, отражающихся на составе биомассы:

В 6 группе характеризуется максимальной конечной массой (251,8 г) и рекордным содержанием сырого протеина в абсолютно сухом веществе (84,19%) при умеренном уровне жира. Это свидетельствует о высокой

эффективности данного рациона для направленного белкового анаболизма и получения продукции с максимальной белковой ценностью. В группах 3, 4, 5 обеспечивает значительную продукционную массу (211,0–231,2 г) за счет сопряженного увеличения в тканях как протеина, так и липидов, что указывает на общую активацию метаболических процессов и накопление энергетических резервов. Выявлено, что содержание влаги (74,2–74,8%) и сырой золы (1,40–1,57%) было стабильным во всех группах, что подтверждает отсутствие влияния экспериментальных факторов на гидратацию и минеральный обмен мышечной ткани и указывает на физиологическую норму состояния рыб. Таким образом, наивысшую комплексную эффективность продемонстрировал рацион группы 6 (20% изолейцина, 20% валина, 40% лейцина), который обеспечил максимальный прирост живой массы и наилучшее качество продукции за счет достижения максимальной концентрации белка в сухом веществе мяса. Рационы групп 2 и 7, несмотря на некоторые позитивные сдвиги в химическом составе, не стимулировали рост, что делает их применение в товарном рыбоводстве нецелесообразным. Полученные данные подтверждают, что целенаправленная балансировка рациона по разветвленным аминокислотам является ключевым инструментом для одновременного повышения продуктивности и улучшения пищевой ценности мяса тилапии. Для оценки питательных свойств мяса тилапии была рассчитана его энергетическая ценность (ЭЦ). В таблице 3.3.4.2. представлены результаты второго опыта по определению энергетической ценности (ЭЦ) мяса тилапии в зависимости от групповых различий. Сравниваются средняя масса тушки и её энергетическая ценность (ЭЦ), рассчитанная как для стандартной порции (100 г), так и для целой особи.

Интегральный показатель «ЭЦ / всю тушку» является наиболее значимым, так как отражает общий выход энергии с одной товарной рыбы.

Таблица 3.3.4.2. Энергетическая ценность мяса тилапии (ЭЦ), ккал второй научно-хозяйственный опыт, n = 5

Показатель	Группа						
	1 (К)	2	3	4	5	6	7
Средняя масса тушки, г	190,00	169,10	211,00	215,20	231,20	251,80	177,60
ЭЦ, ккал /100 граммов	92,5± 0,21	91,9± 0,19	99± 0,34 ^{а,б}	105,6± 0,24 ^{а,б,в}	98,7± 0,27 ^{а,б,г}	99,6± 0,2 ^{а,б,г,д}	99,3± 0,30 ^{а,б,г}
ЭЦ, ккал / на всю тушку по группе	175,4	155,4	208,9	227,3	228,2	250,8	176,4

Примечание: а, б, в, г, д, е, ё, – разность достоверна по критерию Стьюдента ($p \leq 0,05$)

Наибольшая конечная масса была достигнута в группе 6 (251,8 г), что на 32,5% превышает показатель контрольной группы (190,0 г). Также существенно лучшие результаты по сравнению с контролем показали группы 5 (231,2 г), 4 (215,2 г) и 3 (211,0 г). Особи из 2 группы (169,1 г) и 7 группы (177,6 г) уступили не только лидерам, но и контрольной группе по данному параметру. Наиболее калорийным оказалось филе рыб из 4 группы (105,6 ккал/100 г), что на 14,2% выше, чем в контроле (92,5 ккал/100 г). Повышенную питательную плотность также демонстрировали группы 3, 5, 6 и 7 (значения около 99 ккал/100 г). Минимальная калорийность зафиксирована в 2-ой группе (91,9 ккал/100 г). Энергетическая ценность (ЭЦ / на всю тушку) данный показатель, объединяющий массу и качество тушки, является комплексным критерием эффективности выращивания. Лидером с максимальным суммарным выходом энергии с особи стала группа 6 (250,8 ккал), что на 43% выше контрольного значения (175,4 ккал). Этот результат достигнут за счёт комбинации наибольшей массы и высокой калорийности филе. В 4-ой и 5-ой группы составили (227,3 ккал, 228,2 ккал) соответственно показали близкие и очень хорошие результаты, превысив контроль на 30%, преимущественно за счёт высокой энергетической плотности мяса и хорошей массы. Группа 3 (208,9 ккал) также продемонстрировала значимое превышение над контролем 19%. Группа 2 (155,4 ккал) и 7 группа (176,4 ккал) показали наименьшую

общую энергоценность тушки. В группе 2 это следствие низкой как массы, так и калорийности. В 7 группе, несмотря на высокую питательную плотность филе (99,3 ккал/100 г), низкая конечная масса нивелировала это преимущество, и результат оказался на уровне контроля. Рационы, применённые в группах 4, 5 и особенно 6, оказались наиболее эффективными для получения максимального количества энергии (питательной ценности) с одной товарной особи тилапии.

Выводы по разделу: установлено, что различные комбинации разветвленных аминокислот в рационе оказывают существенное влияние как на продуктивность (массу тушки), так и на питательную ценность (энергетическую плотность) мяса тилапии, что в совокупности определяет общий энергетический выход с одной товарной особи. Показано, что интегральный показатель энергетическая ценность всей тушки является наиболее объективным критерием оценки эффективности рациона. Поэтому показателю выявлены значительные различия между группами: Максимальная эффективность была в 6-ой группе наблюдается наивысший комплексный результат. Указанный рацион (20% изолейцина, 20% валина, 40% лейцина) дал наибольшую среднюю массу тушки — 251,8 г — при энергетической плотности мяса 99,6 ккал/100 г. В сумме это обеспечило максимальный выход энергии с одной особи: 250,8 ккал, что на 43% выше контроля. Высокую продуктивность показали также рационы четвёртой и пятой групп: масса составила 215,2 и 231,2 г соответственно, а филе четвёртой группы отличалось наибольшей энергетической плотностью — 105,6 ккал/100 г. Общий энергетический выход (227,3 и 228,2 ккал) превысил контрольный показатель примерно на 30%. Удовлетворительная эффективность (группа 3) показала достоверное улучшение по сравнению с контролем (увеличение выхода энергии на 19%), однако уступила лидерам. Неэффективные рационы (группы 2 и 7) не обеспечили роста продуктивности. Группа 2 отстала по всем показателям. Группа 7, несмотря на высокую питательную плотность мяса (99,3 ккал/100 г), не смогла компенсировать низкую конечную массу рыбы

(177,6 г), и общий энергетический выход остался на уровне контроля. Выявлено, что достижение максимального выхода продукции (энергии) возможно при одновременной стимуляции как ростовых процессов (увеличение массы), так и метаболических путей, повышающих питательную ценность тканей (содержание протеина и липидов). Таким образом, наиболее целесообразными для практического применения в товарном выращивании тилапии являются рационы групп 6, 4 и 5, которые обеспечивают значительный прирост биомассы с одновременным улучшением ее качественных характеристик. Рацион группы 6 является оптимальным, так как гарантирует наибольший суммарный выход высококачественного пищевого продукта с единицы выращивания.

3.3.5. Органолептический анализ мяса Нильской тилапии

Стабильное производство тилапии с высокими органолептическими свойствами требует целостного подхода. Органолептические свойства тилапии, внешний вид, запах, текстура и вкус являются основным фактором, определяющим потребительский выбор, коммерческую стоимость и успех на рынке. Эти характеристики служат прямым индикатором свежести и качества всей производственной цепочки от выращивания до реализации [180, 204].

Факторы, влияющие на качество при выращивании

Высокое органолептическое качество закладывается на этапе выращивания и не может быть компенсировано после вылова. Ключевые управляемые факторы включают: качество воды и оптимальные параметры предотвращают накопление неприятных привкусов. Кормление, особенно сбалансированный рацион, по аминокислотному составу, напрямую влияет на плотность мяса, его вкус и цвет. Условия выращивания влияют на физиологическое состояние рыбы и, как следствие, на качество филе, Минимизация физических повреждений и стресса предотвращает ускоренную порчу, особенно при правильном вылове и транспортировка [79]. Тилапия, как и вся рыба, продукт крайне скоропортящийся. После гибели запускаются

необратимые процессы как автолиз (ферментативное саморазрушение тканей), окисление липидов, ведущее к прогорклости, бактериальная порча, вызывающая появление слизи, неприятного запаха и изменений текстуры, скорость этих процессов критически зависит от температуры. В тропических условиях срок приемлемой свежести необработанной рыбы может составлять менее суток [85, 117].

Анализ данных таблицы 3.3.5.1 показывает, что органолептическая оценка на 229 день убоя мяса тилапии были отмечены в 4 группе, которая превзошла контроль по всем ключевым параметрам, получив максимальные оценки за нежность, сочность и вкус.

Таблица 3.3.5.1. Органолептическая оценка мяса тилапии на 229 день убоя, n = 5

Показатель	Группа			
	Контроль (К)	2	3	4
Внешний вид	4,7 ± 0,1	4,5 ± 0,2	4,6 ± 0,2	4,8 ± 0,1
Консистенция	4,9 ± 0,2	4,7 ± 0,2	4,7 ± 0,2	4,5 ± 0,3
Запах	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,3	4,5 ± 0,2	4,8 ± 0,2
Нежность	4,4 ± 0,4	4,5 ± 0,3	4,4 ± 0,3	4,9 ± 0,1
Сочность	4,5 ± 0,2	4,3 ± 0,3	4,5 ± 0,3	4,9 ± 0,1
Вкус	4,6 ± 0,28	4,5 ± 0,2	4,5 ± 0,2	4,9 ± 0,1
Общий балл	4,63 ± 0,28	4,48 ± 0,25	4,53 ± 0,25	4,80 ± 0,18

Примечание: а, б, в, г, д, е, ё, – разность достоверна по критерию Стьюдента ($p \leq 0,05$)

В контрольной группе (базовый рацион) мясо тилапии продемонстрировало хорошие органолептические свойства с общим баллом $4,63 \pm 0,28$. Продукт характеризовался высокими оценками по консистенции ($4,9 \pm 0,2$) и внешнему виду ($4,7 \pm 0,1$), что указывает на его отличную плотность и привлекательность. Однако, относительно более низкие показатели нежности ($4,4 \pm 0,4$) и сочности ($4,5 \pm 0,2$) в сравнении с другими параметрами подтверждают, что рацион без оптимизации по ВСАА не позволяет полностью раскрыть потенциал мяса по этим ключевым для потребителя характеристикам. Таким образом, даже базовый рацион обеспечивает приемлемое качество, но оставляет резерв для направленного улучшения. В 2 группе при добавлении 30% изолейцина общий балл повысился до 4,48, что указывает на улучшение. Наиболее значимый рост

отмечен по консистенции (4,7), что подтверждает ключевую роль изолейцина в формировании плотной мышечной структуры. Однако, отсутствие существенных улучшений по сочности и запаху свидетельствует о лимитирующей роли других аминокислот. В 3 группе при сбалансированной добавке изолейцина, валина и лейцина (20%, 20%, 40%) достигнут общий балл 4,53. Данный вариант обеспечил равномерное улучшение всех параметров, особенно внешнего вида и сочности, при сохранении высокой консистенции (4,7). Это подтверждает, что комплексный баланс ВСАА эффективнее единичных добавок для гармоничного качества. В 4 группе при высоких дозах всех ВСАА (по 40% каждого) зафиксирован максимальный общий балл 4,80. Продукт получил наивысшие оценки по нежности, сочности и вкусу (4,9), что указывает на раскрытие полного потребительского потенциала мяса. Небольшое снижение консистенции (4,5), вероятно, является следствием чрезвычайной сочности и повышенного содержания внутримышечного жира.

Таким образом, установлено, что даже базовый рацион обеспечивает хорошее качество мяса, но оптимизация по ВСАА позволяет направленно и значительно улучшать его ключевые потребительские свойства, достигая максимальных оценок при сбалансированном повышении всех трёх аминокислот.

3.4. Производственная апробация оптимальных уровней изолейцина и разветвленных аминокислот в рационах Нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) (третий научно-хозяйственный опыт).

3.4.1. Роста тиляпий

Динамика ростовых показателей тиляпий в третьем производственном опыте представлена в таблице 3.4.1.1.

Таблица 3.4.1.1. – Показатели роста тиляпий за третий опыт выращивания

Показатель	Группа			
	1 К	4	6	7
Продолжительность опыта, сут.	45	45	45	45

Продолжение таблицы 3.4.1.1.

Средняя масса рыбы начальная, г	265,2	377,3	362,5	353,1
Средняя масса рыбы конечная, г	314,90	445,40	400,30	412,60
Абсолютный прирост, г/шт.	49,70	68,10	37,80	59,50
Среднесуточный прирост, г/сут.	1,10	1,51	0,84	1,32
Км (Коэффициент массонакопления)	0,025	0,027	0,016	0,025
Относительная скорость роста, %	0,38	0,37	0,22	0,35

Наибольший абсолютный прирост, г/шт. в 4-ой и в 7-ой группах при добавлении 30% изолейцина и при добавлении 40% изолейцина и 40% валина и 40% лейцина составили 68,10 г и 59,50 г соответственно, а в 3-ой группе при добавлении 20% изолейцина и 20% валина, и 40% лейцина составил 37,80 г снижение по сравнению с контролем где составил 49,70 г.

При добавлении 30% изолейцина в 4-ой группе улучшение на 37% по сравнению с контролем. При добавлении 20% изолейцина и 20% валина, и 40% лейцина в 6-ой группе снижение на 24% по сравнению с контролем, худший результат. При добавлении 40% изолейцина и 40% валина, и 40% лейцина в 7-ой группе улучшение на 20% по сравнению с контролем. Наибольший результат было у 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина составил 1,51 г/шт, и худший результат у 6-ой группе составил 0,84 г/шт., в седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) среднесуточный прирост составил 1,32 г/шт. — величина, близкая к контрольной, но уступающая показателю четвертой группы. Наибольший среднесуточный прирост зафиксирован в четвертой группе (30% изолейцина) — 1,51 г/шт., что на 37% выше контроля.

В 7-ой группе (с повышенными дозами всех трех аминокислот) показала 1,32 г/шт. улучшение на 20% к контролю, но уступила группе 4. В 6-ой группе (умеренные дозы трех аминокислот) дала наихудший результат 0,84 г/шт. снижение на 24% к контролю, что может указывать на неоптимальный баланс аминокислот. Контрольная группа (без добавок) показала наибольший среднесуточный прирост % (0,38%). В 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина 0,37% снижение на 2,6% к контролю, что близко к базовому

уровню. В 6-ой группе при добавлении 20% изолейцина 20%, валина и 40% лейцина (комбинация аминокислот в умеренных дозах) 0,22% снижение на 42,1%, наихудший результат. В 7-ой группе при добавлении 40% изолейцина 40% и валина и 40% лейцина (высокие дозы всех трех аминокислот) 0,35% снижение 7,9%, ближе к контролю, но всё же ниже. Добавление только изолейцина (в 4-ой группе) почти не влияет на % прироста, но улучшает абсолютные показатели (г/шт.). коэффициент массонакопления (в 6-ей и 7-ей группе) снижает % прироста, особенно при умеренных дозах (в 6-ой группе).

Высокие дозы всех трех аминокислот (в 7-ой группе) дают результат ближе к контролю, но всё же хуже. В 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина дает наибольшее улучшение коэффициента массонакопления 8% по сравнению с контрольным. При умеренных дозах (6-я группа: 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) коэффициент массонакопления снижается на 36% относительно контроля. Высокие дозы (7-я группа: 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) нивелируют этот негативный эффект, возвращая показатель к контрольному уровню.

Выводы по разделу: установлено, что влияние кормовых добавок на основе разветвленных аминокислот на ростовые показатели товарной телят в третьем (производственном) опыте подтверждает тенденции, выявленные ранее, и имеет выраженный дозозависимый характер. Показано, что различные комбинации аминокислот приводят к неоднозначным результатам наибольшая эффективность (группа 4) добавление 30% изолейцина в рацион оказалось наиболее оптимальным, обеспечив максимальный абсолютный (68,10 г, и увеличена на 37% к контролю) и среднесуточный (1,51 г/сут.) прирост, а также наибольший коэффициент массонакопления (0,027). Это свидетельствует о высокой эффективности моно-добавки изолейцина для стимуляции роста на данной стадии. Комплексная добавка 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина (седьмая группа) тоже дала положительный сдвиг: абсолютный прирост превысил контроль на 20%. Уступила она, однако, моно-добавке изолейцина. Иначе сложилась ситуация в шестой группе: рацион с

20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина оказался худшим по всем показателям — абсолютный прирост снизился на 24% даже относительно контроля. Это указывает на то, что данная комбинация и количество создает дисбаланс, который не стимулирует, а, вероятно, угнетает ростовые процессы. Выявлено, что относительные показатели прироста (в % от массы) в опытных группах были равны или ниже контрольных, несмотря на более высокие абсолютные значения (г/сут.). Это может объясняться большей начальной массой рыб в опытных группах и указывает на то, что добавки эффективнее стимулируют прирост у более крупных особей.

Таким образом, результаты третьего опыта подтверждают, что для стимуляции роста товарной тилапии наиболее целесообразным является применение кормовой добавки на основе 30% изолейцина. Комплексные добавки с высоким содержанием всех трех ВСАА также эффективны, но требуют более точного баланса, так как их несбалансированные варианты (как в 6-ой группе) могут приводить к снижению продуктивности.

Полученные данные позволяют рекомендовать моно-добавку изолейцина в дозе 30% для практического использования в заключительный период откорма тилапии.

3.4.2. Рыбоводно-биологические показатели

В рамках тёртого научно-хозяйственного опыта динамика роста тилапии изучалась на протяжении 45 дней. В третьем эксперименте в контрольном варианте масса составил 314,90 г; в четвертой 445,40 г; в шестой группе 400,30 г, в седьмой 412,60 г.

Таблица 3.4.2.1. содержит данные о продуктивности рыб на третьем опыте выращивания. Максимальный прирост ихтиомассы отмечен в четвёртой группе (30% изолейцина) — 409 г, что на 37,2% выше контроля (298 г). Минимальным он оказался в шестой группе (20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) — 227 г, на 23,8% ниже контроля.

Таблица 3.4.2.1. – Рыбоводные показатели (третий научно-хозяйственный опыт)

Показатель	Группа			
	1 к	4	6	7
Продолжительность опыта, сут.	45	45	45	45
Средняя масса рыбы начальная, г	265,2	377,3	362,5	353,1
Средняя масса рыбы конечная, г	314,90	445,40	400,30	412,60
Количество, шт.	6	6	6	6
Израсходовано корма, г	1200	1200	1200	1200
Ихтиомасса, г	1889	2672	2402	2476
Выживаемость, %	100	100	100	100
Прирост ихтиомассы, г	298	409	227	357
% к контролю	100	137,2	76,2	119,8
Выход ихтиомассы, кг / м ³	9,4	13,4	12,0	12,4
% к контролю	100	142,6	127,7	131,9
Расход корма, г/шт.	200,00	200,00	200,00	200,00
Суточный рацион, г/шт.	4,44	4,44	4,44	4,44
Суточный рацион, %	1,53	1,08	1,17	1,16
% к контролю	100	70,6	76,5	75,82
Затраты корма, кг/кг	4,02	2,94	5,29	3,36
Затрата протеина г/кг	1366,8	999,6	1798,6	1142,4
% к контролю	100	73,13	131,6	83,6
Прирост ихтиомассы, г / м ³ . в сут.	33,1333	45,4	25,2	39,6667
Кормовая нагрузка, г / м ³ . в сут.	133,333	133,333	133,333	133,333
Объем бассейна, м ³ .	0,2			

Максимальный прирост ихтиомассы зафиксирован в четвёртой группе (30% изолейцина) — 409 г, что на 37,2% выше контроля (298 г). Наименьшим он оказался в шестой группе (20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) — 227 г, на 23,8% ниже контроля. В седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) прирост ихтиомассы превысил контроль на 19,8%. Наивысший выход ихтиомассы, кг/м³ был в 4-ой при добавлении 30%

изолейцина составил 13,4 кг/м³ увеличена на 4% по сравнению с контролем 9,4 кг/м³. Выход ихтиомассы, кг/м³ в 6-ой, 7-ой группах составили 12 кг/м³, 12,4 кг/м³, соответственно, и увеличена его на 2,6%, 3%, соответственно по сравнению с контролем 9,4 кг/м³. В 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина получены самые низкие затраты корма и протеина на 26,9 % по сравнению с контролем. В шестой группе (20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) затраты корма возросли на 31,6% относительно контроля. В седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) затраты корма и протеина, напротив, снизились на 16,4%. В 7-ой группе увеличена прирост ихтиомассы, г н 19,8% соответственно по сравнению с контролем 298 г. Наивысший выход ихтиомассы, кг/м³ было в 4-ой при добавлении 30% изолейцина составил 13,4 кг/м³, увеличена на 4 % по сравнению с контролем 9,4 кг/м³. Выход ихтиомассы, кг/м³ в (6-ой, 7-ой,) группе составили 12 кг/м³, 12,4 кг/м³, соответственно, и увеличена его на 2,6%, 3%, соответственно со сравнения к контролю 9,4 кг/м³. В 4-ой группе при добавлении 30% изолейцина получены самые низкие затраты корма и протеина на 26,9 % по сравнению с контролем. В шестой группе (20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина) затраты корма выросли на 31,6% относительно контроля. В седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина) затраты корма и протеина, напротив, снизились на 16,4%.

Выводы по разделу: установлено, что на завершающей товарной стадии выращивания (третий опыт) применение кормовых добавок на основе разветвленных аминокислот продолжает оказывать значимое влияние на продуктивность и экономическую эффективность откорма тилапии. При этом наибольшие результаты продемонстрировала моно-добавка изолейцина. Показано, что максимальная эффективность кормления достигнута в 4-ой группе (30% изолейцина), которая по всем ключевым рыбоводно-экономическим показателям значительно превзошла как контроль, так и другие опытные группы: В 4-ой группе показан наибольший прирост ихтиомассы (409 г, и увеличен на 37,2% к контролю) и самый высокий выход

продукции с единицы объема (13,4 кг/м³, увеличен на 42,6% к контролю). В этой же группе зафиксированы наименьшие затраты корма на прирост (2,94 кг/кг) и протеина (999,6 г/кг), что на 26,9% эффективнее контроля. Это указывает на наибольшую усвояемость и использование питательных веществ рациона. При одинаковом количестве скармливаемого корма во всех группах (кормовая нагрузка 133,3 г/м³/сутки) именно рацион группы 4 обеспечил максимальную отдачу в виде прироста биомассы. Выявлено, что комплексные добавки показали неоднозначные результаты: в 7-ой группе (40% изолейцин, 40% валин, 40% лейцин) обеспечила хороший прирост (увеличен на 19,8%) и улучшила конверсию корма на 16,4%, что является положительным, но уступающим результатом по сравнению с группой 4. В 6-ой группе (20% изолейцин, 20% валин, 40% лейцин) оказалась наименее эффективной, показав снижение прироста на 23,8% и ухудшение конверсии корма на 31,6% по сравнению с контролем. Это подтверждает тезис о критической важности не только состава, но и баланса доз ВСАА. Таким образом, для заключительного этапа товарного выращивания тилапии наиболее рентабельным и эффективным является применение кормовой добавки, содержащей 30% изолейцина. Данный рацион обеспечивает максимальную скорость роста, наивысший выход конечной продукции и оптимальные затраты корма, что напрямую влияет на снижение себестоимости производства и повышение экономической эффективности хозяйства.

3.4.3. Биологическая и энергетическая ценность мяса

Разработка и применение интегральных критериев биологической ценности мяса рыб остаются одной из задач современной нутрициологии, аквакультуры и пищевой промышленности. Такие критерии позволяют объективно сопоставлять мясо разных видов рыб (например, тилапии, лосося и трески) между собой или с другими источниками белка (мясом животных, птицы) [49, 102, 157]. Биологическая ценность (условные значения) представлена в таблице 3.4.3.1.

Таблица 3.4.3.1-Биологическая ценность белка (условные значения), %

Белки растительного происхождения	
Соя	73 - 74
Рис	60 - 70
Пшеница	54 - 65
Белки животного происхождения	
Яичный белок (эталон)	100
Сывороточный протеин	104-110
Говядина	80 - 92
Казеин (молочный белок)	77 - 80
Мясо цыплят бройлера	79 - 90
Баранина	78 - 85
Белки аквакультуры	
Лосось	75 - 87
Треска	75 - 89
Тиляпия	78 - 85
Креветка	85-90
Кальмар	80-85

Известно, что «идеальный белок» является не просто теоретическим эталоном, а практическим инструментом, на основе которого строятся современные подходы к оценке качества протеина. Наиболее авторитетным и широко используемым эталоном является профиль, разработанный (ФАО) совместно с (ВОЗ).

Самая последняя и современная версия была опубликована в 2007 году в отчете "Белок и аминокислоты в питании человека".

Эталон ФАО/ВОЗ обновляется по мере накопления новых научных данных: первая версия — 1965 г., уточнённые нормы — 1973 г., пересмотр на основе новых данных — 1985 г., очередное обновление — 2007 г. - современная и актуальная версия, которой рекомендуется придерживаться сегодня. Эта концепция "идеального белка" лежит в основе обогащения продуктов питания и создания сбалансированных рационов для людей и животных [145]. Данная модель представлена в таблице 3.4.3.2.

Таблица 3.4.3.2. Стандарт ФАО/ВОЗ применительно к потребностям человека, мг/г белка

Незаменимая аминокислота (НАК)	Эталон (мг/г)		
	1973	1985	2007
Лизин	55	55	55
Валин	50	50	50
Лейцин	70	70	70
Изолейцин	40	40	40
Метионин + Цистеин	35	35	35
Треонин	40	40	40
Фенилаланин + Тирозин	60	60	60
Триптофан	10	10	10
Гистидин	-	15	15

В стандарте 1973 года гистидин не считался незаменимой аминокислотой для взрослых людей, поэтому для него не было установлено эталонного значения [28]. Позднее научные данные показали его необходимость, и в последующих пересмотрах (1985, 2007 гг.) гистидин был включен в список с рекомендуемым значением.

В данной работе рассмотрено изменение состава белка тилапии от введения разного уровня аминокислот ВСАА в корма. Данные подходы позволяют получить комплексное понимание биологической ценности продукции мяса тилапии. В современном рыбоводстве и нутрициологии Нильская тилапия (*Oreochromis niloticus*) утвердилась в качестве одного из доминирующих видов в глобальной аквакультуре, что подтверждается стабильно растущими объемами ее производства [197, 201]. По данным (ФАО), данный вид занимает второе место в мире по объему выращивания, уступая лишь карпу [40, 83]. Такой «феноменальный рост», по мнению некоторых исследователей, считающих ее «бройлерным цыпленком, но в рыбоводстве», обусловлен комплексом биологических (неприхотливость, быстрый рост) и экономических факторов [105]. Одним из ключевых аспектов,

определяющих пищевую ценность тилапии, является качество ее белка. Белок мяса тилапии характеризуется сбалансированным аминокислотным составом, соответствующим потребностям человеческого организма, с высоким содержанием незаменимых аминокислот [122]. Аминокислотный состав и усвояемость белка объединяет биологическая ценность (БЦ). Этот показатель отражает долю азота, задержанного организмом из всосавшегося в кишечнике, и тем самым характеризует эффективность утилизации пищевого белка для синтеза собственных белков тела [98, 49].

Мясо тилапии обладает высокой пищевой ценностью, обусловленной в первую очередь значительным содержанием полноценного белка. Помимо сбалансированного по аминокислотному составу протеина, мышечная ткань содержит жиры, минеральные вещества, воду и небелковые азотистые соединения (таблица. 3.4.3.3.). В таблице 3.4.3.3. представлены данные о массовых долях ключевых питательных веществ и влаги в биомассе рыб из четырех экспериментальных групп, где группа 1 выступала в качестве контроля (К).

Таблица 3.4.3.3- Химический состав тилапии третьего опыта, n = 5

Показатель	Группа			
	1 (К)	4	6	7
М.д. влаги. натуральной (НВ)	70,1±0,35 ^{Б, Г}	70,2±0,42 ^{Б, Г}	72,1±0,25 ^{А, Б}	73,1±0,32 ^{А, Б, В}
М.д. абсолютно сухого вещества	29,9±0,41	29,8±0,36	27,9±0,38	26,9±0,27
М.д. сырого протеина на (НВ)	19,8±0,5 ^{Б, Г}	21,5±0,39 ^{А, В}	20,2±0,49 ^Б	21,3±0,28 ^А
М.д. сырого протеина на АСВ	66,2±0,34	72,1±0,46	72,4±0,17	79,2±0,29
М.д сырого жира на НВ	1,7±0,05 ^{Б, Г}	2,1±0,09 ^{А, В, Г}	1,6±0,06 ^{Б, Г}	3,2±0,12 ^{А, Б, В}
М.д сырого жира на АСВ	5,69±0,39	7,05±0,37	5,73±0,28	11,90±0,41
М.д. сырой золы	1,52±0,07	1,61±0,03 ^Г	1,41±0,04	1,54±0,08 ^Б

М.д: массовая доля, абсолютно сухого вещества (АСВ = СВ * (1 - W/100)), М.д. сырого протеина (N₂*6,25)

Значения представлены как М±m (среднее арифметическое ± ошибка средней). Наблюдалась четкая тенденция к повышению влажности биомассы от контрольной к 7-й группе (от 70,1% до 73,1%). Соответственно, содержание абсолютно сухого вещества (АСВ) закономерно снижалось (с 29,9% до 26,9%). Это указывает на возможные изменения в гидратации тканей или

соотношении тканевых компонентов под влиянием экспериментальных факторов. В пересчете на натуральную влажность (НВ) значения варьировали в узком диапазоне (19,8–21,5%), достигая максимума в группах 4 и 7. Статистически достоверных различий между контролем (19,8%) и некоторыми опытными группами (20,2% в 6-ой группе) не выявлено. В пересчете на абсолютно сухое вещество (АСВ) данный показатель более объективно отражает концентрацию белка в органической массе. Здесь наблюдается выраженный рост протеина от 66,2% в контроле до 79,2% в 4-й группе. Это свидетельствует о том, что, несмотря на увеличение общей влажности, белковая составляющая сухого вещества в опытных группах (особенно 4, 6 и 7) была существенно выше, чем в контроле.

В пересчете на НВ содержание жира было низким во всех группах (1,6–3,2%). Наибольшее значение (3,2%) зафиксировано в 7-ой группе, что более чем в 1,5 раза превышает показатель контроля (1,7%). В пересчете на АСВ концентрация жира в сухом веществе выросла с 5,69% в контроле до 11,90% в 7-й группе, демонстрируя более чем двукратное увеличение. Группы 4 и 6 по этому показателю занимали промежуточное положение (около 7%). Доли золы во всех группах были сопоставимы и находились в пределах 1,41–1,61% от натуральной массы, что указывает на отсутствие существенного влияния экспериментальных условий на минерализацию биомассы. Проведенный анализ выявил значимые изменения в химическом составе биомассы под воздействием исследуемых факторов. Наиболее важным результатом является одновременное увеличение концентрации как сырого протеина, так и сырого жира в абсолютно сухом веществе в опытных группах (особенно в группе 7) по сравнению с контролем. Это позволяет предположить положительное влияние примененных в опыте рационов или условий на аккумуляцию основных энергетических и пластических веществ в организме молодяти. Повышенная влажность биомассы в группах с лучшими показателями по протеину и жиру может быть связана с особенностями метаболизма и ростовых процессов.

Выводы по разделу: Установлено, что применение различных кормовых добавок на основе разветвленных аминокислот в третьем производственном опыте оказало существенное влияние на химический состав мышечной ткани товарной телят. Наиболее выраженные положительные сдвиги зафиксированы в седьмой группе (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина). Оценка качества протеина показала: во всех опытных группах — 4, 6 и 7 — концентрация сырого протеина в абсолютно сухом веществе (АСВ) значительно превысила контрольный уровень (66,2%). Максимальное значение зафиксировано в 7 группе 79,2%, что свидетельствует о высокой эффективности данного рациона для направленного белкового анаболизма.

Энергетическая ценность параллельно с ростом протеина, в опытных группах, и особенно в группе 7, наблюдалось увеличение содержания сырого жира в АСВ. В 7 группе этот показатель достиг 11,90%, что более чем в два раза превышает контрольный уровень (5,69%). Это указывает на одновременную активацию липогенеза и повышение общей энергетической плотности мяса. В 4 группе (30% изолейцина) и группа 6 (20% изолейцина, 20% валина, 40% лейцина) показали промежуточные, но также достоверно улучшенные результаты по содержанию протеина в АСВ (72,1% и 72,4% соответственно). Выявлено, что увеличение массовой доли влаги в опытных группах (до 73,1% в группе 7 против 70,1% в контроле) при одновременном росте концентрации питательных веществ в сухом остатке является характерной метаболической реакцией, сопутствующей интенсивному росту и накоплению белка и липидов в тканях. Таким образом, наиболее сбалансированное и выраженное улучшение питательной ценности мяса телят (максимальное содержание белка и повышенное содержание жира в сухом веществе) достигнуто при использовании кормовой добавки, содержащей высокие дозы всех трех разветвленных аминокислот (по 40% каждого). Это подтверждает, что данный рацион не только стимулирует рост (как показано в предыдущих выводах), но и способствует качественному

улучшению состава конечной продукции, повышая ее протеиновую и энергетическую ценность.

Результаты третьего опыта по оценке питательных свойств мяса тилапии через расчет его энергетической ценности (ЭЦ) с учетом групповых различий приведены в таблице 3.4.3.4.

Таблица 3.4.3.4- Энергетическая ценность мяса тилапии (ЭЦ), ккал, n = 5

Показатель	Группа			
	1 (К)	4	6	7
Средняя масса тушки, г	314,9	445,4	400,3	412,6
ЭЦ ккал / 100 грамм	94,5±0,24 ^{б, в, г}	104,9±0,31 ^{а, в, г}	95,2±0,28 ^{а, б, г}	114±0,24 ^{а, б, в}
ЭЦ ккал / всю тушку по группе	297,6	467,22	381,1	470,4

Примечание тут и далее: статистически достоверная разность (p < 0,05):
а - с группой 1; б - с группой 2; в - с группой 3; г - с группой 4

В таблице 3.4.3.4 представлены итоговые производственные и качественные показатели товарной тилапии по завершении эксперимента. Анализируются средняя масса одной тушки и её энергетическая ценность (ЭЦ), рассчитанная как для стандартной порции (100 г), так и для целой особи. Максимальный рыбоводный эффект получен в четвёртой группе: средняя масса тушки достигла 445,4 г, что на 41,4% выше контроля (314,9 г). Рыбы шестой и седьмой групп также достоверно превзошли контроль — 400,3 и 412,6 г соответственно, — однако лидеру они уступали.

На 100 г продукта наиболее калорийным оказалось филе рыб из 7 группы (114,0 ккал/100 г), что на 20,6% выше, чем в контроле (94,5 ккал/100 г). Показатель группы 4 (104,9 ккал/100 г) также достоверно превышал контрольный. Энергетическая ценность в 6 группе (95,2 ккал/100 г) была сопоставима с контролем. На целую тушку данный показатель объединяет влияние как массы особи, так и питательной плотности филе. Максимальный запас энергии в одной товарной особи зафиксирован в группах 4 и 7 (около

470 ккал), что более чем на 50% выше контрольного значения (297,6 ккал). Особи из 6 группы, несмотря на хорошую массу, имели более низкую калорийность филе, поэтому их интегральная энергетическая ценность (381,1 ккал) оказалась ниже, чем у групп 4 и 7. Результаты демонстрируют различное влияние экспериментальных факторов на продуктивность и качество, где в 4-ой группе показала оптимальный результат с точки зрения прироста биомассы, достигнув максимальной массы при существенном повышении калорийности филе. В 7-ой группе выделяется максимальным качеством продукции (наивысшая энергетическая плотность), что, в сочетании с хорошей массой, обеспечило ей лидерство по суммарной энергии с одной особи. В 6-ой группе, несмотря на хороший рост, не имела значимых преимуществ по составу мяса перед контролем, что отразилось на её итоговых качественных показателях.

Контрольная группа уступила всем опытным группам как по массе, так и по энергетической ценности конечного продукта. Применение опытных рационов позволило не только интенсифицировать рост тилапии, но и существенно повысить питательную ценность товарной рыбы за счет увеличения калорийности филе. Наиболее сбалансированные результаты, сочетающие высокую скорость роста и улучшенные качественные характеристики, были получены в группах 4 и 7.

Выводы по разделу: установлено, что применение кормовых добавок на основе разветвленных аминокислот в третьем производственном опыте привело к значительному увеличению как продукционной массы товарной тилапии, так и энергетической ценности (ЭЦ) её мяса, что в совокупности резко повысило общий энергетический выход с одной особи. Показано, что различные рационы обеспечили разные стратегии повышения эффективности в 4 группе при добавке 30% изолейцина обеспечила наибольшую среднюю массу тушки (445,4 г, и увеличена на 41,4% к контролю) и высокую питательную плотность мяса (104,9 ккал/100 г). Это привело к общему выходу энергии 467,2 ккал с особи. В 7 группе комплексная добавка 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина обеспечила рекордную энергетическую плотность

мяса (114,0 ккал/100 г, и увеличена на 20,6% к контролю) при отличной массе тушки (412,6 г). В результате интегральный показатель ЭЦ всей тушки достиг максимального значения 470,4 ккал, что на 58% выше контрольного.

В 6 группе рацион с добавкой 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина дал хороший прирост массы (400,3 г), но не привел к существенному улучшению качества мяса (95,2 ккал/100 г). Общий энергетический выход (381,1 ккал) был ниже, чем у групп 4 и 7.

Выявлено, что интегральный показатель «Энергетическая ценность всей тушки» является наиболее объективным критерием, объединяющим количественные и качественные результаты. По этому критерию группы 4 и 7 показали сопоставимую и максимальную эффективность, значительно превзойдя контроль и группу 6.

Таким образом, для достижения максимального выхода высококачественной продукции в условиях производственного цикла наиболее целесообразно применение двух рационов: для получения максимальной массы с высокими качественными показателями – рацион с 30% изолейцина (группа 4).

Для получения продукции с максимальной питательной (энергетической) ценностью при высокой массе – рацион с комплексной добавкой ВСАА по 40% каждого (группа 7). Оба варианта демонстрируют высокую эффективность и могут быть рекомендованы для практического использования в зависимости от целевых установок производства (акцент на объем или на качество конечного продукта).

Как было отмечено выше, ключевым критерием питательной полноценности белка является его аминокислотный состав. В таблице 3.4.3.5. приведены количественные результаты третьего опыта по определению массовой доли незаменимых аминокислот в мясе телятии.

Таблица 3.4.3.5- Аминокислотный состав мяса тилапии (незаменимые),

%, n = 5

Показатель	Пересчет	Группа			
		1 (К)	4	6	7
М.д. лизина	на НВ	1,7±0,17 г	1,8±0,16 г	1,68±0,13 г	2,22±0,12 а, б, в
	на АСВ	5,69±0,21	6,04±0,19	6,02±0,15	8,25±0,11
	на СП / АСВ	8,59±0,15	8,37±0,14	8,32±0,11	10,42±0,09
М.д. валина	на НВ	0,84±0,01 б, г	0,92±0,02 а, в, г	0,86±0,03 б, г	1,15±0,02 а, б, в
	на АСВ	2,81±0,14	3,09±0,12	3,08±0,14	4,28±0,11
	на СП / АСВ	4,24±0,21	4,28±0,22	4,26±0,21	5,40±0,20
М.д. лейцина	на НВ	1,43±0,11 г	1,52±0,09 г	1,4±0,08 г	1,88±0,07 а, б, в
	на АСВ	4,78±0,10	5,10±0,11	5,02±0,10	6,99±0,09
	на СП / АСВ	7,22±0,24	7,07±0,26	6,93±0,27	8,83±0,21
М.д. изолейцина	на НВ	0,81±0,02 б, г	0,89±0,01 а, б, в	0,83±0,02 б, г	1,11±0,01 а, б, в
	на АСВ	2,71±0,15	2,99±0,18	2,97±0,14	4,13±0,12
	на СП / АСВ	4,09±0,13	4,14±0,12	4,11±0,11	5,21±0,12
М.д. метионин	на НВ	0,54±0,03 г	0,58±0,02 в, г	0,53±0,01 б, г	0,71±0,03а,б,в
	на АСВ	1,81±0,14	1,95±0,13	1,90±0,18	2,64±0,17
	на СП / АСВ	2,73±0,12	2,70±0,11	2,62±0,10	3,33±0,09
М.д. Аргинин	на НВ	1,07±0,04г	1,13±0,03 в, г	1,03±0,04 б, г	1,34±0,03 а, б, в
	на АСВ	3,58±0,18	3,79±0,17	3,69±0,14	4,98±0,11
	на СП / АСВ	5,40±0,17	5,26±0,15	5,10±0,12	6,29±0,11
М.д. треонина	на НВ	0,8±0,04 г	0,83±0,02 в, г	0,75±0,04 б, г	1,01±0,03 а, б, в
	на АСВ	2,68±0,16	2,79±0,14	2,69±0,11	3,75±0,10
	на СП / АСВ	4,04±0,29	3,86±0,27	3,71±0,28	4,74±0,25
М.д. фнилаланина	на НВ	0,73±0,04 г	0,77±0,03 в, г	0,71±0,02 б, г	0,96±0,02 а, б, в
	на АСВ	2,44±0,16	2,58±0,15	2,54±0,14	3,57±0,03
	на СП / АСВ	3,69±0,21	3,58±0,17	3,51±0,16	4,51±0,13
М.д. триптофана	на НВ	0,21±0,02	0,22±0,01	0,2±0,03	0,22±0,02
	на АСВ	0,70±0,03	0,74±0,02	0,72±0,02	0,82±0,01
	на СП / АСВ	1,06±0,07	1,02±0,06	0,99±0,05	1,03±0,04
М.д. гистидина	на НВ	0,48±0,04 г	0,52±0,03 в, г	0,44±0,02 б, г	0,62±0,02 а, б, в
	на АСВ	1,61±0,24	1,74±0,21	1,58±0,20	2,30±0,19
	на СП / АСВ	2,42±0,26	2,42±0,24	2,18±0,21	2,91±0,20

Примечание: НВ: натуральное вещество, АСВ: абсолютно сухое вещество, СП: сырой протеин.

В таблице представлены массовые доли незаменимых аминокислот (НАК) в биомассе рыб из четырёх экспериментальных групп (1 — контрольная «К»). Наиболее выраженные и статистически значимые отличия от контрольной группы наблюдаются в 7-ой группе. По всем вариантам пересчёта (НВ, АСВ, СП/АСВ) содержание подавляющего большинства НАК

в этой группе является максимальным и существенно превышает показатели контроля.

Это указывает на наиболее благоприятное влияние условий или рациона, применённых в 7 группе, на аккумуляцию протеина с высоким содержанием незаменимых аминокислот. Пересчёт на НВ повышенная влажность биомассы в опытных группах (особенно в 7-ой группе), отмеченная ранее, несколько «разбавляет» абсолютное содержание аминокислот. Тем не менее, в 7-ой группе наблюдается явный рост значений для всех НАК (напр., лизин 1,7% в контроле и 2,22% в 7-ой группе). В группах 4 и 6 показатели близки к контролю или незначительно его превышают. Пересчёт на АСВ этот расчёт устраняет влияние влажности и чётко демонстрирует увеличение концентрации НАК в сухом веществе биомассы от группы 1 к группе 7. Например, концентрация лизина в АСВ возросла с 5,69% в контроле до 8,25% в 7-ой группе, валина с 2,81% до 4,28%. Данный факт подтверждает, что повышенная влажность в 7-ой группе сопровождалась качественным улучшением состава сухого вещества за счёт обогащения полноценным белком.

Пересчёт на сырой протеин (СП/АСВ) анализ аминокислотного состава белка выявляет его качественное изменение. В 7-ой группе белок имеет достоверно более высокое содержание ключевых НАК. Особенно показателен рост доли лизина в белке с 8,59% до 10,42%, что критически важно для роста. Также заметно увеличение доли валина, лейцина, изолейцина и аргинина. Для триптофана и гистидина различия между группами минимальны. В группах 4 и 6 аминокислотный состав белка практически не отличался от контрольного. Лизин является первой лимитирующей аминокислотой в большинстве кормов. Его максимальное накопление в биомассе группы 7 (особенно в пересчёте на белок) свидетельствует о высокой биодоступности и сбалансированности рациона по этой аминокислоте.

ВСАА (валин, лейцин, изолейцин) комплекс аминокислот с разветвлённой цепью, играющих ключевую роль в метаболизме мышц. Их

повышенное содержание в 7-ой группе (на 40-50% выше контроля в АСВ) указывает на усиление протеинового анаболизма. Серусодержащие аминокислоты (метионин) повышение содержания метионина в 7-ой группе на 46% (в АСВ) говорит об улучшении обеспеченности этой второй часто лимитирующей аминокислотой. Триптофан значения по этой аминокислоте были низкими и сопоставимыми во всех группах, что может отражать её исходное низкое содержание в кормах или особенности метаболизма.

Проведённый анализ аминокислотного состава биомассы выявил, что группа 7 принципиально отличается от контроля и других опытных групп. Молодь тилапии в этой группе накопила не просто больше сырого протеина, но и белка с более совершенным (сбалансированным) аминокислотным профилем, обогащённого критически важными аминокислотами (лизин, ВСАА, метионин, аргинин). Более высокая биологическая ценность протеина рациона седьмой группы и его эффективное усвоение рыбой подтверждаются полученными результатами. В группах 4 и 6 условия не вызвали заметного качественного сдвига в аминокислотном составе белка относительно контроля. В таблице 3.4.3.6. приведены количественные результаты второго опыта по определению массовой доли заменимых аминокислот в мясе тилапии. Наибольшая концентрация всех изученных аминокислот (аспарагиновой, глутаминовой, серина, пролина, глицина, аланина, цистина и цистеина) во всех трех способах пересчета (на НВ, АСВ и СП) зафиксирована в образцах группы 7. Это свидетельствует о том, что условия, соответствующие группе 7, наиболее благоприятны для накопления аминокислот. Наименьшие показатели массовой доли аминокислот чаще всего отмечались в группе 6. В частности, содержание серина и пролина в этой группе ($0,63 \pm 0,03$ г и $0,69 \pm 0,01$ г на НВ соответственно) было достоверно ниже, чем в группах 1, 4 и 7. Превосходство группы 7 над группами 1, 4 и 6 является статистически достоверным (обозначено литерами «а, б, в» в строке «цистин и цистеин» и «серин») по ряду показателей на НВ.

Таблица 3.4.3.6. - Аминокислотный состав мяса телятины (заменимые),
%, n = 5

Показатель	Пересчет	Группа			
		1 (К)	4	6	7
М.д. аспарагиновой кислоты	на НВ	1,83±0,12 г	1,94±0,15 г	1,78±0,13 г	2,37±0,14
	на АСВ	6,12±0,24	6,51±0,21	6,38±0,20	8,81±0,27
	на СП / АСВ	9,24±0,16	9,02±0,14	8,81±0,15	11,13±0,18
М.д. серина	на НВ	0,69±0,02 в, г	0,7±0,02 в, г	0,63±0,03 а, б, г	0,84±0,06 а, б, в
	на АСВ	2,31±0,11	2,35±0,10	2,26±0,09	3,12±0,12
	на СП / АСВ	3,48±0,09	3,26±0,07	3,12±0,04	3,94±0,08
М.д. глутаминовой кислоты	на НВ	2,76±0,12 г	2,88±0,11 г	2,67±0,10 г	3,54±0,09
	на АСВ	9,23±0,26	9,66±0,25	9,57±0,26	13,16±0,22
	на СП / АСВ	13,94±0,17	13,40±0,15	13,22±0,17	16,62±0,16
М.д. пролина	на НВ	0,75±0,03 в, г	0,8±0,02 в, г	0,69±0,01 а, б, г	0,9±0,02 а, б, в
	на АСВ	2,51±0,14	2,68±0,15	2,47±0,11	3,35±0,10
	на СП / АСВ	3,79±0,12	3,72±0,13	3,42±0,12	4,23±0,11
М.д. глицина	на НВ	1,13±0,13	1,21±0,11	1,03±0,10 г	1,35±0,09 в
	на АСВ	3,78±0,24	4,06±0,26	3,69±0,24	5,02±0,23
	на СП / АСВ	5,71±0,26	5,63±0,27	5,10±0,28	6,34±0,27
М.д. аланина	на НВ	1,15±0,08 г	1,18±0,07 г	1,07±0,05 г	1,41±0,04
	на АСВ	3,85±0,18	3,96±0,15	3,84±0,11	5,24±0,10 а, б, в
	на СП / АСВ	5,81±0,19	5,49±0,17	5,30±0,16	6,62±0,15
М.д. цистина и цистеина	на НВ	0,17±0,04 г	0,19±0,02 г	0,18±0,03 г	0,24±0,02 а, б, в
	на АСВ	0,57±0,05	0,64±0,03	0,65±0,02	0,89±0,01
	на СП / АСВ	0,86±0,07	0,88±0,04	0,89±0,03	1,13±0,02

В группы 1 и 4 по большинству параметров статистически значимо не различались между собой, формируя близкую по свойствам совокупность. Группа 3 в ряде случаев (серин, пролин) демонстрировала достоверно более низкие результаты не только по сравнению с группой 7, но и с контролем (группа 1), что указывает на возможное негативное влияние исследуемого.

Выводы, Установлено, что применение кормовых добавок с различным содержанием разветвленных аминокислот оказало существенное влияние на аминокислотный состав мышечной ткани тилапии, причем наиболее выраженные положительные изменения зафиксированы при использовании комплексной высокодозовой добавки. Показано, что по содержанию как незаменимых (НАК), так и заменимых аминокислот группа 7 (40% изолейцин, 40% валин, 40% лейцин) является безусловным лидером, демонстрируя качественное улучшение протеина в мясе рыб этой группы отмечено максимальное и статистически значимое увеличение концентрации всех ключевых НАК как в абсолютно сухом веществе (АСВ), так и в составе самого белка (СП/АСВ). Особенно важно повышение доли лимитирующих аминокислот: лизина (до 10,42% в белке), метионина (до 3,33%), а также комплекса ВСАА (валина, лейцина, изолейцина). Это свидетельствует о формировании белка высочайшей биологической ценности. Показано, что аналогичная позитивная динамика наблюдается и для заменимых аминокислот. Значительно возросло содержание аспарагиновой и глутаминовой кислот (участников азотистого обмена), аланина, глицина и пролина. Это указывает на общую активацию метаболизма и синтеза белка.

Выявлено, что стабильность серусодержащих аминокислот в отличие от некоторых результатов второго опыта, в данном случае содержание цистина/цистеина в группе 7 было самым высоким (1,13% в белке), что свидетельствует об отсутствии дефицита и хорошем балансе рациона. Выявлено, что рационы, примененные в группах 4 (30% изолейцин) и 6 (20% изолейцин, 20% валин, 40% лейцин), хотя и способствовали увеличению общего количества протеина, не привели к столь значительному качественному улучшению его аминокислотного состава. Их показатели были близки к контрольным, особенно в пересчете на состав белка. Таким образом, наиболее эффективным для кардинального улучшения питательной ценности мяса тилапии, а именно для обогащения его полноценным, сбалансированным по аминокислотному составу белком, является рацион с комплексной

добавкой ВСАА в высоких дозах (по 40% каждого). Этот рацион обеспечивает не только высокий прирост массы, но и формирование конечного продукта с исключительными качественными характеристиками, что имеет ключевое значение для производства пищевой продукции с повышенной биологической ценностью.

Биологическая ценность белка мяса тилапии рассчитывалась с учётом общей усвояемости белка мяса тилапии, принятой в качестве показателя усвояемости для каждой аминокислоты. В таблице 3.4.3.7. данные для расчета показателя PDCAAS белка мяса тилапии показателю как пример для 4 группы опыта.

Таблица 3.4.3.7.- Пример расчёта показателя PDCAAS для оценки биологической ценности мяса тилапии (7 группа)

Аминокислота	Содержание аминокислот в белке тилапии, мг/1г (4 группа)	Содержание аминокислот в эталон белке ФАО, мг/1г	Аминокислотное число и лимитирующая аминокислота	Усвояемость белка, %	Показатель PDCAAS, %
Лизин	82,50	55	1,50	95	$95 * 0,60 = 57$
Валин	42,80	50	0,86		
Лейцин	69,90	70	1,00		
Изолейцин	41,30	40	1,03		
Метионин + Цистеин	35,3	35	1,01		
Треонин	37,5	40	0,94		
Фенилаланин + Тирозин	35,7	60	0,60		
Триптофан	8,2	10	0,82		
Гистидин	23	15	1,53		

Установлено, что первой лимитирующей аминокислотой, лимитирующей биологическую ценность белка мяса тилапии, является сумма ароматических аминокислот (фенилаланин + тирозин) с аминокислотным скором 0,60. Это означает, что потребность организма в этих аминокислотах при употреблении данного белка удовлетворяется лишь на 60% от эталонного уровня.

В таблице 3.4.3.8. данные для расчета показателя DIAAS белка мяса тилипии показатель как пример для 7 группы опыта. Для оценки качества белка используется система взаимодополняющих индексов, где изменения качества белка в опытной группе оцениваются на основе основных аминокислотных показателей по сравнению с контрольной группой.

Таблица 3.4.3.8.- Пример расчёта показателя DIAAS PDCAAS для оценки биологической ценности мяса тилипии (7 группа).

Аминокислота	Содержание аминокислот в белке тилипии, мг/1г (7 группа)	Содержание аминокислот в эталон белке ФАО, мг/1г	Ориентировочный коэффициент идеальной переваримости для человека	Переваримость белка, %		Показатель DIAAS, %	
Лизин	82,50	55	95-98%	78,38	80,85	1,43	1,47
Валин	42,80	50	95-98%	40,66	41,94	0,81	0,84
Лейцин	69,90	70	95-98%	66,41	68,5	0,95	0,98
Изолейцин	41,30	40	95-98%	39,24	40,47	0,98	1,01
Метионин + Цистеин	35,3	35	94-98%	33,18	34,24	0,95	0,98
Треонин	37,5	40	94-97%	35,25	36,38	0,88	0,91
Фенилаланин + Тирозин	35,7	60	95-98%	33,92	34,99	0,57	0,58
Триптофан	8,2	10	95-98%	7,79	8,04	0,78	0,80
Гистидин	23	15	94-97%	21,62	22,31	1,44	1,49

Расчеты показывают, что значения DIAAS (скорректированные на истинную переваримость отдельных аминокислот) незначительно ниже традиционного аминокислотного сора, но дают более точную оценку. Использование DIAAS позволяет перейти от показателя 57% (PDCAAS) к диапазону 57-58% (DIAAS) для первой лимитирующей аминокислоты. Это уточнение подтверждает корректность предыдущей оценки, но подчеркивает важность учета индивидуальной переваримости каждой аминокислоты.

Оценка биологической ценности белка с использованием различных подходов, которые учитывают содержание спектра аминокислот в мясе тилипии показана в таблице 3.4.3.9. Согласно результатам исследования аминокислотного состава, образцы группы 7 демонстрируют существенно

более высокую питательную ценность по сравнению с другими группами, что подтверждается комплексной оценкой интегральных показателей.

Таблица 3.4.3.9. Оценка биологической ценности белка согласно спектру аминокислот в мясе тилапии

Показатель	индексы	Группа			
		1 (К)	4	6	7
Отношение аминокислот (заменимые к незаменимым)		0,98	0,97	0,96	0,95
Доля серосодержащих аминокислот, %		12,02	12,05	12,62	17,00
Доля аминокислот с разветвленной боковой цепью (сумма: изолейцина лейцина и валина), %		52,02	52,00	54,80	72,30
Аминокислотный скор	1	40,7	43	42,3	59,5
ИНАК Индекс, Осера	2	69,42	74,47	72,66	99,27
Индекс PDCAAS	3	38,63	40,85	40,22	56,53
Индекс DIAAS	4	37,4	39,6	38,9	54,7
Показатель Карпачи-Линдера-Варги	5	86,46	88,82	88,17	99,03
Коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС)	6	0,38	0,40	0,40	0,57

В таблице 3.4.3.9. представлены данные в сравнении с контрольной группой (К), взятой за 100%. Это позволяет четко видеть процентное изменение каждого показателя.

Коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС) в группе 7 достиг значения 0,57 против 0,38-0,40 в других группах, что свидетельствует о лучшей сбалансированности аминокислотного профиля, максимально приближенного к эталонному белку. Это коррелирует с оптимальным соотношением заменимых и незаменимых аминокислот (0,95), повышенной долей серосодержащих аминокислот (17,00%) и аминокислот с разветвленной цепью (72,30%), а также более высокими значениями аминокислотного скор (59,5), индексов Осера (99,27), PDCAAS (56,53), DIAAS (54,7) и показателя Карпачи-Линдера-Варги (99,03). Полученные данные свидетельствуют о том, что использование кормовой композиции группы 7 обеспечит более эффективную утилизацию протеина и оптимальное обеспечение тилапии незаменимыми аминокислотами. Методика PDCAAS получила широкое

признание в научном сообществе в связи с высокой степенью соответствия её результатов данным, полученным в ходе клинических исследований. Однако, в процессе её практического применения и накопления экспериментальных данных были выявлены две основные проблемы. Для их решения Консультативным собранием экспертов ФАО/ВОЗ/УООН в 2002 году в методику расчёта PDCAAS были внесены коррективы. Для интегральной оценки превосходства группы 7 над контрольной группой 1 по шести индексам оптимально применить метод многомерного сравнительного анализа на основе расстояний от эталона показана в таблице 3.4.3.10. Так, для интегральной оценки был применен метод многомерного сравнительного анализа. На первом этапе сформировали матрицу исходных данных из шести аминокислотных показателей для контрольной и опытной групп. Все значения нормировали к безразмерному виду по формуле $Z_{ij} = (X_{ij} - \min_i) / (\max_i - \min_i)$.

Таблица 3.4.3.10. Математическая модель расчета интегрального показателя шести индексов, оценивающих биологическую ценность на примере контрольной группы 1 и 7 опытной группы

Показатель	Группа 1 К (X_1)	Группа 7 (X_7)
Аминокислотный скор	40,70	59,50
Индекс Осера	69,42	99,27
PDCAAS	38,63	56,53
DIAAS	37,40	54,70
Показатель Карпачи-Линдера-Варги	86,46	99,03
КРАС	0,380	0,570

Затем рассчитывали евклидово расстояние до идеального объекта с максимальными значениями показателей по формуле $d_j = \sqrt{[\sum (1 - Z_{ij})^2]}$. Интегральное превосходство опытной группы определяли как $K = (d_1 - d_7) / d_1 \times 100\%$. В результате было установлено, что расстояние до эталона составило 2,21 у.е. для контрольной группы против 0,84 у.е. для опытной группы. Расчеты показали, что по комплексу из шести индексов, оценивающих биологическую ценность, опытная группа превосходила контрольную на 62%,

что свидетельствовало о существенно более высокой сбалансированности аминокислотного состава корма и как следствие биологической ценности мяса тилапии.

Выводы по разделу: установлено, что применение кормовых добавок с различным содержанием разветвленных аминокислот оказало существенное влияние на аминокислотный состав мышечной ткани тилапии, причем наиболее выраженные положительные изменения зафиксированы при использовании комплексной высокодозовой добавки. Показано, что по содержанию как незаменимых (НАК), так и заменимых аминокислот группа 7 (40% изолейцин, 40% валин, 40% лейцин) является безусловным лидером, демонстрируя качественное улучшение протеина в мясе рыб этой группы отмечено максимальное и статистически значимое увеличение концентрации всех ключевых НАК как в абсолютно сухом веществе (АСВ), так и в составе самого белка (СП/АСВ). Особенно важно повышение доли лимитирующих аминокислот: лизина (до 10,42% в белке), метионина (до 3,33%), а также комплекса ВСАА (валина, лейцина, изолейцина). Это свидетельствует о формировании белка высочайшей биологической ценности. Показано, что аналогичная позитивная динамика наблюдается и для заменимых аминокислот. Значительно возросло содержание аспарагиновой и глутаминовой кислот (участников азотистого обмена), аланина, глицина и пролина. Это указывает на общую активацию метаболизма и синтеза белка.

Выявлено, что стабильность серусодержащих аминокислот в отличие от некоторых результатов второго опыта, в данном случае содержание цистина/цистеина в группе 7 было самым высоким (1,13% в белке), что свидетельствует об отсутствии дефицита и хорошем балансе рациона. Выявлено, что рационы, примененные в группах 4 (30% изолейцин) и 6 (20% изолейцин, 20% валин, 40% лейцин), хотя и способствовали увеличению общего количества протеина, не привели к столь значительному качественному улучшению его аминокислотного состава. Их показатели были близки к контрольным, особенно в пересчете на состав белка. Таким образом,

наиболее эффективным для кардинального улучшения питательной ценности мяса тилапии, а именно для обогащения его полноценным, сбалансированным по аминокислотному составу белком, является рацион с комплексной добавкой ВСАА в высоких дозах (по 40% каждого). Этот рацион обеспечивает не только высокий прирост массы, но и формирование конечного продукта с исключительными качественными характеристиками, что имеет ключевое значение для производства пищевой продукции с повышенной биологической ценностью. Биологическая ценность белка мяса тилапии рассчитывалась с учётом общей усвояемости белка мяса тилапии, принятой в качестве показателя усвояемости для каждой аминокислоты.

Установлено, что применение кормовых добавок, содержащих разветвленные аминокислоты в различных комбинациях и дозах, оказывает значимое влияние на аминокислотный состав и, как следствие, на интегральную биологическую ценность белка мяса тилапии. Наиболее выраженный положительный эффект наблюдается при использовании комплексной высокодозовой добавки. Показано, что комплексная оценка с использованием шести ключевых индексов качества белка (аминокислотный скор, индекс Осера, PDCAAS, DIAAS, показатель Карпачи-Линдера-Варги, КРАС) однозначно подтверждает существенное преимущество рациона группы 7 (40% изолейцина, 40% валина, 40% лейцина). Согласно результатам многомерного сравнительного анализа, биологическая ценность белка в этой группе превосходит контроль на 62%. Это прямое следствие оптимального, максимально сбалансированного аминокислотного профиля, приближенного к эталону ФАО/ВОЗ. Выявлено, что превосходство группы 4 детерминировано комплексным улучшением ключевых параметров, наибольшее соотношение заменимых и незаменимых аминокислот (0,95), а также максимальный коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС = 0,57) указывают на сбалансированность, наиболее близкую к "идеальному белку". Значительное увеличение доли аминокислот с разветвленной цепью (ВСАА) до 72,3% и серусодержащих аминокислот до 17,0% отражает улучшение протеинового и

метионинового обеспечения. Превосходство по ключевым индексам индекс Осера (99,27) и показатель Карпачи-Линдера-Варги (99,03) в группе 4 близки к теоретическому максимуму (100), что свидетельствует о почти полном соответствии аминокислотного профиля оптимальным потребностям.

Таким образом, кормовой рацион с комплексной добавкой ВСАА в высоких дозах (по 40% каждого) не только стимулирует рост и улучшает химический состав мяса тилапии, но и принципиально повышает биологическую ценность его белка, приближая его к эталонному "идеальному белку". Это делает продукцию, полученную с использованием данного рациона, значительно более ценной с точки зрения питания человека, так как обеспечивает максимально эффективное усвоение и утилизацию белка организмом. Данный рацион может быть рекомендован для производства пищевой продукции с заявленными высокими нутритивными свойствами.

3.5 Оценка экономической эффективности при разных уровнях изолейцина в комбикорме Нильской тилапии

Оценка экономической эффективности различных уровней ВСАА в рационе выполнена с использованием методики, предложенной И.Л. Фридманом.

Оценка экономической эффективности комбикормов с разным уровнем изолейцина для нильской тилапии напрямую зависит от двух ключевых показателей, которые были изучены в научных работах: улучшения конверсии корма (снижения кормового коэффициента) и скорости роста рыбы.

Ниже представлена сводная таблица с результатами ключевых исследований, которые являются основой для оценки экономической эффективности.

Где расчет экономической эффективности по формуле И.Л. Фридмана (1986):

- $Ээ = (П_2 - П_1) * Ц$, где
- Ц – цена 1 кг товарной рыбы

- Ээ – экономический эффект, руб; П₁ – прирост массы тела Тиляпия в варианте 1; П₂ – прирост массы тела Тиляпия в варианте 2; П₃ – прирост массы тела Тиляпия в варианте 3; П₄ – прирост массы тела Тиляпия в варианте 4; П₅ – прирост массы тела Тиляпия в варианте 5; П₆ – прирост массы тела Тиляпия в варианте 6; П₇ – прирост массы тела Тиляпия в варианте 7;

- $Ээ2 = (20,4 - 21,7) * 450 = - 585 \text{ руб/ м}^3 \text{ (убыток)}$
- $Ээ3 = (24,6 - 21,7) * 450 = 1305 \text{ руб/ м}^3$
- $Ээ4 = (26 - 21,7) * 450 = 1935 \text{ руб/ м}^3$
- $Ээ5 = (26,5 - 21,7) * 450 = 2160 \text{ руб/ м}^3$
- $Ээ6 = (26,3 - 21,7) * 450 = 2070 \text{ руб/ м}^3$
- $Ээ7 = (22,7 - 21,7) * 450 = 450 \text{ руб/ м}^3$

Таблица 3.5.1 – Экономическая эффективность к контрольной группе, руб/м³

1 этап					
2	3	4	5	6	7
900	900	1485	1080	225	630
2 этап					
-225	1845	2160	2565	1530	-45
3 этап					
-1710	1395	2475	2385	2295	-180
4 этап					
-1395	1440	1710	2790	4185	-855
5 этап					
-405	1125	2025	2115	2295	2880
Среднее по все этап					
-585	1305	1935	2160	2070	450

Исходя из расчета экономической эффективности, наиболее эффективными являются корма с добавкой из 20% изолейцина и 20% валина (группа 5) и корма с добавкой из 20% изолейцина и 20% валина и 40% лизина

(группа 6). И значения компетенций для каждой группы в разбивке по этапам: 5-я группа—1080, 2115, 2790, 2385, 2565, рублей/ м³, и шестой— 225, 1530, 2295, 4185, 2295 рублей/ м³.

Сравнение среднего экономического эффекта, рассчитанного за пять этапов эксперимента, выявило существенные различия между опытными группами. Наибольшее значение показателя зафиксировано в 5-й группе (+2160 руб/м³), что позволяет характеризовать данный вариант как наиболее экономически выгодный. Близкий результат продемонстрировала 6-я группа (+2070 руб/м³), уступая лидеру по среднему эффекту на 90 руб/м³. Высокий уровень рентабельности отмечен в 4-й группе (+1935 руб/м³). В 3-й группе зафиксирован стабильный положительный эффект на уровне +1305 руб/м³. Минимальное положительное значение получено в 7-й группе (+450 руб/м³), что существенно ниже результатов остальных групп с положительной отдачей. Единственной группой, показавшей отрицательный итоговый результат, стала 2-я (–585 руб/м³), что свидетельствует об экономической нецелесообразности применения соответствующего варианта добавки.

Оценка исключительно средних величин не позволяет в полной мере судить о надежности получаемого эффекта, в связи с чем был проведен анализ поколебальной динамики показателя. В 6-й группе, несмотря на несколько меньший средний результат по сравнению с 5-й, на 4-м этапе зафиксирован абсолютный максимум по всему эксперименту — +4185 руб/м³, что указывает на способность данного варианта генерировать резкие краткосрочные подъемы экономической отдачи.

Наиболее стабильную прибыль на протяжении всех этапов показали группы 3 и 4. Особо следует выделить 4-ю группу: её экономический эффект оставался устойчиво высоким, варьируя в диапазоне от +1485 до +2475 руб/м³, и ни на одном из этапов не опускался ниже нулевой отметки. Такая динамика свидетельствует о низком уровне риска и предсказуемости результата.

Для 5-й группы, обладающей наивысшим средним эффектом, характерна значительная вариабельность. Значения экономического эффекта

колебались в широких пределах: от минимального +1080 руб/м³ (1-й этап) до +2790 руб/м³ (4-й этап), что говорит о высокой чувствительности данного варианта к факторам, меняющимся от этапа к этапу.

Экономически нестабильными оказались варианты, реализованные в группах 2 и 7. Во 2-й группе наблюдалось чередование прибыльных и убыточных этапов с колебаниями от +900 руб/м³ до –1710 руб/м³ (3-й этап), итогом чего стал отрицательный средний эффект. Динамика 7-й группы характеризуется тем, что на первых четырёх этапах фиксировался отрицательный экономический результат (с минимальным значением –855 руб/м³ на 4-м этапе), и лишь резкий подъём на 5-м этапе до +2880 руб/м³ обеспечил слабо положительное среднее значение. Подобная структура результата (выход на окупаемость лишь в заключительном периоде) указывает на крайне высокую экономическую рискованность использования этого варианта в производственных условиях.

Выводы, Выявлены значительные межгрупповые различия по экономической эффективности. Наивысшая средняя прибыль за все этапы достигнута в группе 5 (2160 руб/м³), которая характеризуется стабильно высокими значениями и максимумом на 4 этапе. Группа 6 (2070 руб/м³) также показала высокий средний результат, однако с резким скачком на 4 этапе (4185 руб/м³) и меньшей стабильностью.

Показано, что группы 4 (1935 руб/м³) и 3 (1305 руб/м³) демонстрируют умеренно положительную динамику, причём группа 4 лидировала по эффективности на 1 и 3 этапах. Группа 2 оказалась единственной убыточной (среднее –585 руб/м³) с устойчивой отрицательной тенденцией. Группа 7, несмотря на лидерство на финальном 5 этапе (2880 руб/м³), характеризуется высокой волатильностью и низким средним результатом (450 руб/м³) из-за провалов на предыдущих этапах.

Показано, что группа 6, несмотря на рекордный всплеск прибыли, требует дополнительного изучения вследствие резких колебаний эффективности, а группы 3 и 7 могут рассматриваться как резервные при

условии технологической доработки. Рецептура группы 2 признана экономически нецелесообразной.

Таким образом, установлено, что для практического использования приоритет отдаётся вариантам, реализованным в группах 4 и 5, как наиболее эффективным и стабильным по комплексу биологических и экономических критериев.

3.6. Модель идеального протеина в кормлении нильской тилляпии

Сравнительная оценка мировых подходов (NTU - Национальный университет Тайваня, UFPR - Федеральный университет Параны, Бразилия) и определение возраст-зависимых соотношений изолейцина, лейцина и валина к лизину. Модель идеального протеина в кормлении тилляпии: сравнительная оценка мировых подходов (NTU, UFPR - Национальном университете Тайваня (NTU) и Федеральном университете Параны (UFPR, Бразилия) и определение возраст-зависимых соотношений ВСАА к лизину. Эффективность аквакультуры тилляпии напрямую зависит от точности нормирования аминокислотного питания. Концепция «идеального протеина» (ideal protein concept) является методологической основой для балансирования рационов, позволяя максимизировать рост и минимизировать азотную нагрузку [236].

Эволюция нормирования протеина в аквакультуре имеет: традиционный подход к кормлению рыб, который основывался на обеспечении минимального уровня сырого протеина (СП). Однако стремительный рост цен на рыбную муку и ужесточение экологических требований привели к необходимости перехода на безрыбные рационы с высоким содержанием растительных компонентов. Это, в свою очередь, потребовало перехода от количественного учета протеина к качественному балансированию рационов по незаменимым аминокислотам (НАК) [185].

Концепция «идеального протеина» предполагает такое соотношение НАК в рационе, которое полностью соответствует потребностям животного для синтеза белка и роста, что позволяет минимизировать окисление аминокислот и экскрецию азота. В этой модели наиболее дефицитная (первая

лимитирующая) аминокислота обычно лизин принимается за 100%, а потребность в остальных выражается в процентах от нее.

Фундаментальная база: Школа NTU (Тайвань): Национальный университет Тайваня (NTU) под руководством профессора Шиая (Shiau) заложил основы современного понимания питания тилапии [203]. Начав свои исследования в середине 1980-х годов, школа NTU стала пионером в определении точных потребностей гибридной тилапии (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) в макро- и микронутриентах. Авторитет профессора Шиая признан на международном уровне, его работы легли в основу многих рекомендаций, включенных в руководство NRC (Nutrient Requirements of Fish and Shrimp) [212]. Вклад в концепцию идеального протеина: ученые NTU не только установили фундаментальные потребности в классических аминокислотах, но и исследовали сложные метаболические взаимодействия. Например, они показали, что источник углеводов (глюкоза или крахмал) влияет на утилизацию питательных веществ и может модулировать действие минералов, таких как хром, что косвенно сказывается на метаболизме аминокислот и эффективности использования протеина. Работы этой школы создали ту «академическую» базу, которая демонстрирует, как сбалансированный профиль питательных веществ позволяет добиться максимальной конверсии корма даже у молоди рыб. Именно на этих фундаментальных данных базируются многие «традиционные» нормы, используемые в международных стандартах [221].

Школа UFPR (Бразилия): в то время как школа NTU формировала фундаментальную базу, Федеральный университет Параны (UFPR) в Бразилии стал лидером в прикладной адаптации этих знаний к реалиям интенсивного товарного производства. Бразилия является одним из крупнейших мировых производителей тилапии, что стимулирует разработку экономически эффективных рационов на основе местного сырья, прежде всего соевого шрота и кукурузы. Ключевые направления исследований UFPR: Основной фокус бразильских ученых замена дорогостоящей рыбной муки растительными

белками. Исследования UFPR убедительно доказали, что возможно полностью исключить рыбную муку из рационов товарной тилляпии, балансируя их по НАК. Работы Фуруи (Furuia) и его коллег стали основополагающими в области применения концепции идеального протеина для снижения уровня протеина в кормах без потери продуктивности [122]. Эта школа также активно изучает региональную специфику. Например, исследования определяют точные потребности в протеине для финального откорма (fattening phase) тилляпии весом 400–700 г на безрыбных диетах, рекомендуя уровень переваримого протеина 267 г/кг (298 г/кг СП) при балансировании аминокислот [185]. Это позволяет производителям точно дозировать дорогостоящие корма на заключительном этапе выращивания.

Обобщая данные мировых подходов (NTU, UFPR) и результаты собственных исследований, можно выделить ключевую роль разветвленных аминокислот (ВСАА: лейцин, изолейцин, валин) в реализации продуктивного потенциала тилляпии. С возрастом рыбы оптимальное соотношение ВСАА и лизина меняется. Такая динамика, вероятно, отражает сдвиг метаболических приоритетов: общесоматический рост уступает место интенсивному синтезу мышечного белка. Согласно последним данным, генетически улучшенные линии (такие как GIFT) могут иметь повышенные потребности в аминокислотах по сравнению с обычными стадами, что требует пересмотра устаревших норм NRC. На основе проведенного анализа (синтез литературных данных и экспериментальных результатов) были уточнены следующие возраст-зависимые соотношения ВСАА к лизину (100%) [188]:

Для каждого этапа выращивания рассчитано соотношение лейцина, изолейцина и валина относительно валина — при лизине, принятом за 100.

Молодь до 50 г: 100: 91: 82: 125, что отвечает пропорции лейцин: изолейцин: валин $\approx 1,5: 1,1: 1$. На ранних стадиях потребность в изолейцине повышена — он критически важен для формирования скелета и интенсивного начального роста.

Молодь до 150 г: 100: 84: 98: 125, или лейцин: изолейцин: валин $\approx 1,28: 0,86: 1$. Потребность в изолейцине несколько снижается, тогда как роль валина возрастает; это связано со сменой метаболических приоритетов и подготовкой к фазе активного мышечного роста.

Молодь до 300 г: 100: 98: 114: 175, соотношение лейцин: изолейцин: валин $\approx 1,54: 0,86: 1$. На стадии максимальных привесов необходимы высокие уровни всех ВСАА, особенно лейцина. Его отношение к лизину ($1: 0,6$) здесь максимально: лейцин выступает ключевым стимулятором синтеза мышечного белка через активацию mTOR-сигнального пути.

Товарная продукция до 450 г: 100: 91: 82: 125. Соотношение лейцин: изолейцин: валин возвращается к $\approx 1,5: 1,1: 1$, то есть к профилю, близкому молодню. На завершающем этапе откорма, когда скорость роста естественно снижается, такой профиль экономически выгоден: он позволяет поддерживать качество мяса без перерасхода дорогостоящих синтетических аминокислот.

Сдвиги в соотношении лизина, изолейцина, валина и лейцина по этапам выращивания отражают адаптацию питания к меняющимся физиологическим потребностям организма. В данном случае мы видим динамику, связанную с ростом и развитием рыб (или другого объекта аквакультуры). Давайте разберем возможные причины этих изменений, опираясь на данные из текста и общие знания о метаболизме аминокислот.

Изолейцин (Ile) – незаменимая аминокислота, участвует в синтезе белка, особенно важна для формирования костной ткани и скелетной мускулатуры на ранних стадиях. В тексте указано, что у молоди (до 50 г) повышенная потребность в изолейцине (соотношение Ile/Val = $1,1:1$, самое высокое среди всех групп). Это логично: на начальном этапе активно формируется скелет, идёт интенсивный линейный рост, требующий строительного материала.

Валин (Val) – также незаменимая аминокислота, участвует в энергетическом обмене, особенно в мышцах. На этапе молодь (до 150 г) потребность в валине возрастает (соотношение Val/Val = 1, но по сравнению с другими группами здесь самый высокий относительный уровень валина: 98

против 82 у молоди). Это совпадает с подготовкой к фазе активного мышечного роста – валин необходим для обеспечения энергией и поддержания азотистого баланса.

Лейцин (Leu) – ключевой регулятор синтеза белка через активацию mTOR-сигнального пути. В молоди (до 300 г) наблюдается пик потребности во всех ВСАА, но особенно в лейцине (соотношение Leu/Val = 1,54:1, самое высокое). На стадии максимальных привесов, когда скорость роста максимальна, требуется мощная стимуляция синтеза мышечного белка, и лейцин выступает главным сигнальным стимулятором.

На ранних этапах развития, у молоди, ресурсы организма направлены преимущественно на закладку скелета и формирование внутренних органов. Этим, по-видимому, объясняется повышенный уровень изолейцина — возможного компонента коллагена и других структурных белков. С переходом к наращиванию мышечной массы (молодь до 150 и до 300 г) акценты смещаются: возрастает значение валина как энергетического субстрата и лейцина как анаболического сигнала. К этапу товарного производства (до 450 г) скорость роста естественным образом замедляется, организм достигает почти товарного размера, и потребности в аминокислотах возвращаются к более сбалансированному профилю, близкому к начальному, но уже с учётом поддержания качества мяса, а не максимального прироста. В тексте прямо указано, что на завершающем этапе (товарный продукт) возврат к профилю молоди является экономически выгодным, так как позволяет избежать перерасхода дорогих синтетических аминокислот при сохранении качества мяса. Это важный момент: промышленное кормление стремится не только к биологической эффективности, но и к рентабельности. Пиковые потребности в лейцине на молодь до 300 оправданы максимальной отдачей в привесах, но на финише, когда прирост замедляется, избыток лейцина будет неэффективен.

Развитие концепции «идеального протеина» состоит в признании того, что соотношение аминокислот может меняться в зависимости от этапа выращивания. Такой подход позволяет точно удовлетворять потребности

животного, избегая как дефицита, так и избытка отдельных аминокислот. Избыток же способен проявлять токсичность либо вести к нерациональному расходу корма.

Таким образом, изменение соотношения аминокислот — это естественный физиологический процесс, отражающий онтогенетическую динамику потребностей в строительных и регуляторных молекулах, а также результат оптимизации кормления для достижения максимальной продуктивности и экономической эффективности. Тайваньская школа дала миру понимание «идеального» аминокислотного состава, а бразильская показала, как достичь этого идеала в условиях реального производства, используя доступное сырьё. Следование уточненной модели идеального протеина позволяет не только максимизировать продуктивность телятии, но и снизить себестоимость производства, что является ключевым фактором устойчивого развития аквакультуры. Затраты протеина оптимальны в пределах 428,4–567,8 г/кг. Корма на прирост 1 кг расходуются минимально — 1,26–1,67 кг/кг. В комбикормах для телятии при абсолютном содержании изолейцина 1,81 г/кг соотношение лизина к изолейцину, по нашим данным, устанавливается на уровне 100:98. Соотношение ВСАА — лейцина, валина и изолейцина — выглядит так: 175:114:98. Для рационов телятии, использующих местное кормовое сырьё, модель «идеального протеина» по полученным данным принимает вид: Лей: Вал: Иле = 1,8:1,2:1.

Сопоставление с предложенной моделью на всех этапах выращивания представлено в таблице 3.6.1.

Лейцин: наиболее близкое к модели значение отмечено у молоди до 300 г (–0,01), что подтверждает соответствие этой фазы оптимальному соотношению для максимального роста. Наибольшее отрицательное отклонение (–0,43) приходится на молодь и товарную продукцию — эти этапы характеризуются меньшей потребностью в лейцине.

Валин: молодь до 300 г также близка к модели (–0,04), тогда как у молоди и товарной продукции отклонение заметнее (–0,30). У молоди до 150 г валин почти соответствует модели (–0,03).

Таблица 3.6.1 Соотношения аминокислот и отклонений от экспериментальной модели к модели Национального университета Тайваня

Группа (масса)	Национальный университет Тайваня (NTU)			Экспериментальное			
	Разница с моделью NTU по						
	Лиз: Иле: Вал: Лей	Лей: Иле: Вал (Вал = 1)	Лей: Вал: Иле (Иле = 1) ¹	Лей: Вал: Иле ²	Лей	Вал	Иле
Молодь до 50	100: 91: 82: 125	1,52: 1,11: 1	1,37: 0,90: 1	1,8: 1,2: 1	-0,43	-0,30	0
Молодь до 150	100: 84: 98: 125	1,28: 0,86: 1	1,49: 1,17: 1	1,8: 1,2: 1	-0,31	-0,03	0
Молодь до 300	100: 98: 114: 175	1,54: 0,86: 1	1,79: 1,16: 1	1,8: 1,2: 1	-0,01	-0,04	0
Товарная продукция до 450	100: 91: 82: 125	1,52: 1,11: 1	1,37: 0,90: 1	1,8: 1,2: 1	-0,43	-0,30	0
Среднее значение					-0,295	-0,168	0

¹Соотношение приведено к изолейцину = 1 для сопоставимости с экспериментальной моделью.

²Экспериментальное соотношение (175: 114: 98) соответствует 1,8: 1,2: 1 при изолейцине = 1.

Работа позволила обосновать оптимальное соотношение ВСАА для фазы максимального роста (молодь до 300 г): лейцин : валин : изолейцин = 1,8 : 1,2 : 1. Сопоставление предложенной модели с данными NTU выявило практически полное совпадение для молоди до 300 г — расхождение по лейцину составило лишь –0,01, по валину –0,04. Это говорит о высокой точности разработанной модели и её согласии с фундаментальными рекомендациями тайваньской школы.

Для данной фазы оптимальный уровень протеина, по нашим данным, составляет 331–351 г/кг — выше традиционно принятых 310–320 г/кг. Именно при таких значениях затраты корма на прирост 1 кг оказываются наименьшими: 1,26–1,67 кг/кг. В комбикормах для тилляпии с абсолютным содержанием изолейцина 1,81 г/кг соотношение лизина и изолейцина устанавливается на уровне 100:98, а ВСАА — лейцин: изолейцин: валин — выглядят как 175:98:114.

Итоговая модель идеального протеина для тилляпии, полученная в исследовании, записывается как лизин (100): лейцин (175): изолейцин (98): валин (114). В пересчёте на ВСАА это соответствует лейцин: изолейцин: валин = 1,8: 1: 1,2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показана возможность качественного распознавания и последующего количественного определения пяти незаменимых аминокислот — метионина, лизина, треонина, валина и изолейцина — методом Фурье-спектроскопии в ближней инфракрасной области (FT-NIR). Результаты, полученные с помощью калибровочных моделей частной регрессии методом наименьших квадратов (PLS), верифицировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), принятым в качестве эталонного. Прогнозы FT-NIR хорошо согласовывались с данными ВЭЖХ; остаточное прогностическое отклонение (RPD) превышало 1,3 во всех случаях. Спектроскопию FT-NIR можно рассматривать как простой и быстрый инструмент контроля аминокислот, поступающих с кормом.

2. Результаты эксперимента подтверждают гипотезу о дозозависимом влиянии изолейцина на продуктивность телят в стартовый период выращивания. Наибольшие результаты по конечной массе (42,59 г) и абсолютному приросту (29,53 г, что на 68% выше контроля) зафиксированы в группе с уровнем изолейцина, превышающим контроль на 20%. Повышение количества до 30% не приводит к дальнейшему росту показателей, демонстрируя отсутствие линейной зависимости и выход на «плато» эффективности. Таким образом, для оптимизации рецептуры комбикормов и достижения максимальной продуктивности телят в первые 21 сутки выращивания обоснованным является повышение уровня изолейцина на 20% сверх стандартных значений.

3. Общая закономерность действия добавок доказано, что эффективность включения аминокислотных добавок в рацион телят за период выращивания 184 дня носит онтогенетически обусловленный и дозозависимый характер. Установлена смена приоритетных типов рационов по мере роста рыбы: на стартовом этапе максимальный эффект достигается монодобавкой изолейцина, тогда как на последующих этапах доминирующее положение занимают комбинированные аминокислотные комплексы,

эффективность которых обусловлена синергическим взаимодействием изолейцина, валина и лейцина в процессах метаболизма протеина, что позволяет получить живую массу рыб на уровне 301,8г, что на 32% превышает контрольные показатели, при одновременном улучшении затраты корма (до 1,26 кг/кг) и повышении энергетической и биологической ценности филе.

4. Выявлена этапная специфика действия аминокислотных композиций на прирост ихтиомассы. Максимальная продуктивность на первом этапе зафиксирована в группе с 30%-ной монодобавкой изолейцина (увеличение на 33,9%), на втором этапе в группе с комбинацией 20% изолейцина и 20% валина (увеличение на 62,3%), на третьем и четвертом этапах в группе с тройной комбинацией (20% изолейцин и 20% валин, и 40% лейцин), где превышение контроля составило 37,3% и 49,4% соответственно. На завершающем этапе уникальный результат (превышение на 158,2%) обеспечила комбинация 40% всех трех аминокислот, что указывает на изменение метаболических потребностей организма в финальный период выращивания.

5. Установлено, что применение комбинированных аминокислотных добавок (группы 5, 6, 7) обеспечивает наибольшие показатели затраты корма (1,26–1,67 кг/кг) и затраты протеина (428,4–567,8 г/кг). Наибольшая конечная живая масса (251,8 г, увеличена на 32,5% к контролю) и максимальный суммарный выход энергии в продукции (250,8 ккал, увеличена на 43% к контролю) достигнуты при использовании оптимизированной тройной комбинации в 6 группе. При этом наиболее высокая калорийность филе (105,6 ккал/100 г, увеличена на 14,2% к контролю) отмечена в группе с монодобавкой изолейцина (группа 4), что свидетельствует о влиянии аминокислотного состава корма на качественные характеристики продукции.

6. Экспериментально подтверждена безопасность всех исследуемых количеств и комбинаций аминокислотных добавок: сохранность поголовья во всех группах на протяжении всего опыта составила 100%. Доказана нецелесообразность использования низких (10%) количеств изолейцина, не

оказывающих положительного влияния на рост. Для максимизации продуктивности тилапии и эффективности использования корма рекомендовано дифференцированное применение аминокислотных комплексов в зависимости от этапа выращивания: стартовый монодобавка изолейцина, продуктивный сбалансированная комбинация изолейцина и валина, заключительный комплексное обогащение тремя аминокислотами.

7. В результате производственной апробации установлено, что на завершающем этапе товарного выращивания нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*) эффективность кормовых добавок на основе разветвленных аминокислот сохраняет дозозависимый характер. Подтверждено, что влияние различных комбинаций ВСАА на ростовые показатели неоднозначно и зависит от точного баланса компонентов: наибольшие результаты достигнуты при использовании 30%-ной монодобавки изолейцина, тогда как несбалансированные комплексные добавки могут приводить к снижению продуктивности.

8. Доказано, что включение в рацион 30% изолейцина (группа 4) является наиболее оптимальным для стимуляции роста товарной тилапии. Данная добавка обеспечила максимальные показатели: абсолютный прирост составил 68,10 г, что на 37% выше контроля; среднесуточный прирост достиг 1,51 г/шт. (увеличен на 37% к контролю); коэффициент массонакопления (0,027) превысил контроль на 8%. Это свидетельствует о высокой эффективности монодобавки изолейцина для увеличения продуктивности на заключительной стадии откорма.

9. Выявлено, что комбинированные аминокислотные добавки дают неодинаковый результат —, он зависит от дозы и соотношения компонентов. Высокие дозы всех трёх ВСАА (40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина, группа 7) дали положительный сдвиг: абсолютный прирост превысил контроль на 20%. Однако монодобавка изолейцина оказалась эффективнее. Умеренные дозы комбинации (20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина, группа 6), напротив, обернулись худшими результатами: абсолютный прирост

снизился на 24%, коэффициент массонакопления упал на 36%, а затраты корма выросли на 31,6% относительно контроля. Это говорит о дисбалансе аминокислот, который угнетает ростовые процессы.

10. Установлено, что применение 30%-ной добавки изолейцина (группа 4) обеспечивает наибольшие производственно-экономические показатели: максимальный прирост ихтиомассы (409 г, увеличена на 37,2% к контролю), наивысший выход продукции с единицы объема (13,4 кг/м³, увеличена на 42,6% к контролю), а также минимальные затраты корма (2,94 кг/кг, что на 26,9% эффективнее контроля) и затрат протеина (999,6 г/кг). При 100%-ной выживаемости во всех группах именно этот рацион продемонстрировал наибольшую конверсию питательных веществ. Для заключительного этапа товарного выращивания нильской тилляпии рекомендуется практическое применение кормовой добавки с содержанием 30% изолейцина, обеспечивающее максимальную рентабельность производства и снижение себестоимости продукции.

11. Установлено, что кормовая добавка ВСАА в составе 40% изолейцина, валина и лейцина (группа 7) обеспечила максимальную энергетическую плотность мяса тилляпии 114,0 ккал/100 г, что на 20% выше контрольных значений. Это достигнуто за счёт двукратного увеличения содержания сырого жира и значительного роста доли сырого протеина в сухом веществе при оптимальной влажности мышечной ткани. Показано, что различные составы добавок ВСАА формируют две высокоэффективные стратегии откорма. Рацион с 30% изолейцина (группа 4) обеспечил максимальный прирост живой массы (увеличена на 41% к контролю), тогда как комплексная добавка ВСАА (40% каждого, группа 7) дала наибольший интегральный энергетический выход с особи (увеличена на 58%). Оба варианта значительно повышают общую энергетическую ценность продукции. Установлено, что комплексная добавка ВСАА (40% каждого компонента) принципиально улучшает качество белка мяса. По совокупности шести ключевых биохимических индексов, включая аминокислотный скор, индекс

Осера, PDCAAS и DIAAS, биологическая ценность белка в этой группе превосходит контроль на 62%. Максимальные значения доли серосодержащих аминокислот (17,00%) и ВСАА (72,30%) подтверждают сбалансированность аминокислотного профиля. Показано, что для практического применения рекомендованы две стратегии: использование 30% изолейцина для максимального выхода биомассы и комплексной добавки ВСАА по 40% каждого компонента для получения продукции с исключительной питательной ценностью. Выбор зависит от целевых установок производства ориентации на объём или на качество конечного продукта. Установлено, что добавки ВСАА позволяют направленно регулировать качество мяса тилипии. Базовый рацион формирует продукт со средними характеристиками (4,6 балла). Добавка 30% изолейцина в рацион улучшает консистенцию, но не влияет на сочность и аромат, уступая сбалансированным вариантам. Оптимальный результат достигнут в группе, где добавка 20% лейцина, 20% валина, 40% изолейцина зафиксировано гармоничное улучшение всех органолептических свойств — упругая и сочная консистенция, насыщенный вкус, минимальные потери при варке, наивысшая общая оценка (4,5 балла). Максимальные дозы всех ВСАА (по 40% каждой) обеспечивают высшие показатели нежности, сочности и вкуса (4,8 балла), однако выявлен антагонизм между нежностью и плотностью консистенции, что позволяет формировать продукт с заданными технологическими свойствами. В этой же группе отмечены негативные эффекты избытка жира: рыхлая консистенция, мутный бульон, риск горечи и максимальные потери при варке (3,0 балла).

12. Установлено, что обоснование оптимального соотношения ВСАА для фазы максимального роста (молодь до 300 г): лейцин : валин : изолейцин = 1,8 : 1,2 : 1. Сопоставление с данными NTU выявило практически полное совпадение для этой стадии: отклонение по лейцину составило –0,01, по валину –0,04. Это подтверждает точность разработанной модели и её согласие с фундаментальными рекомендациями тайваньской школы. Оптимальный уровень протеина для данной фазы — 331–351 г/кг, что выше традиционно

принятых 310–320 г/кг. Именно такие значения обеспечивают минимальные затраты корма на прирост 1 кг: 1,26–1,67 кг/кг. В комбикормах для тилапии при абсолютном содержании изолейцина 1,81 г/кг соотношение лизина к изолейцину устанавливается на уровне 100:98, а ВСАА — лейцин: изолейцин: валин — как 175:98:114. Предложенная модель идеального протеина для тилапии имеет вид: лизин (100): лейцин (175): изолейцин (98): валин (114). В пересчёте на ВСАА это соответствует лейцин: изолейцин: валин = 1,8: 1: 1,2.

13. Установлено, что в производство в первую очередь целесообразно рекомендовать варианты, соответствующие 4-й и 5-й группам при добавлении 30% изолейцина и 20% изолейцина + 20% валина. Показано, что применение добавки, соответствующей 5-й группе, обеспечивает максимальный средний экономический эффект (+2160 руб/м³) и позволяет достигать существенных скачков доходности на отдельных этапах цикла, что делает данный вариант предпочтительным в условиях, допускающих регулируемое варьирование факторов. Показано, что вариант, реализованный в 4-й группе, при незначительно меньшем среднем эффекте (+1935 руб/м³) гарантирует стабильно высокую доходность на всём протяжении производственного цикла, не допуская убытков ни на одном из этапов, и характеризуется как наиболее надёжный и предсказуемый.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Рекомендована дифференцированная система кормления с учетом онтогенетических потребностей, предусматривающая возраст-зависимую стратегию обогащения комбикормов разветвленными аминокислотами. В стартовый период (молодь массой до 50 г, первые 40 суток) в комбикорма следует вводить монодобавку L-изолейцина в количестве 30% сверх стандартного уровня (1,68г изолейцина). Молоди в период (молодь массой 50–150 г, второй этап выращивания) в рацион необходимо вводить комбинацию 20% изолейцина и 20% валина сверх стандартного уровня (1,55г изолейцина и 1,81г валина). В заключительный период откорма (товарная рыба массой 300–450 г, финальный этап) рекомендуется применение высокодозовой комплексной добавки, содержащей по 40% изолейцина, валина и лейцина сверх стандартного уровня (1,81г изолейцина и 2,11г валина и 3,23г лейцина); соотношение аминокислот на данном этапе возвращается к профилю, близкому к молоди (лейцин : изолейцин : валин $\approx$ 1,5 : 1 : 1,1). Данные рецептуры соответствуют строгим правилам Халяль и могут быть рекомендованны для производства рыбы для религиозного мусульманского населения.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В перспективе научные исследования эффективности использования концентрата разветвленных аминокислот (ВСАА) целесообразно направить на изучение их действия на другие породы тилапии в различных видах рыбоводства аквариумном, садковом и промышленном (УЗВ). Реализация этих исследований позволит создать целостную научно обоснованную систему нормирования разветвленных аминокислот в кормлении тилапии, адаптированную к различным технологическим условиям и целевым задачам производства, что станет важным вкладом в развитие отечественной аквакультуры и обеспечение продовольственной безопасности. Дальнейшая разработка темы должна включать исследования репродуктивной функции производителей и качества потомства. Реализация этих исследований позволит создать целостную научно обоснованную систему нормирования разветвленных аминокислот в кормлении тилапии, адаптированную к различным технологическим условиям и целевым задачам производства, что станет важным вкладом в развитие отечественной аквакультуры и обеспечение продовольственной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антимонов, А.К. Сравнительная эффективность различных методов определения биологической ценности крупы проса посевного / А.К. Антимонов, О.Н. Антимонова, О.А. Малахова, Ю.Ю. Никонорова // Земледелие. – 2023. – № 4. – С. 44–47. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-04-16>.
2. Аринжанова, М.С. Влияние комплекса аминокислот и ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост рыб и аминокислотный состав печени / М.С. Аринжанова, Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Ю.В. Килякова // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 2. – С. 82–85.
3. Багров, А.М. Новая кормовая добавка для рыб / А.М. Багров, Е.А. Гамыгин, Б.Г. Житний [и др.] // Зоотехния. – 2013. – № 3. – С. 22–24. ISBN 978-5-85382-406-5.
4. Баранов, С.А. Стандартная модель массонакопления рыбы / С.А. Баранов, В.Ф. Резников, Е.А. Стариков [и др.] // Сб. науч. тр. ВНИИПРХ. – 1978. – Вып. 22. – С. 225–228.
5. Борисенко, Е.Я. Разведение сельскохозяйственных животных / Е.Я. Борисенко. – Изд. 4, перер. и доп. – М.: Колос, 1967. – 464 с.
6. Борисовская, А.А. Биотехнология выращивания молоди радужной форели (*Salmo gairdneri* Richds, 1836) / А.А. Борисовская // Актуальные вопросы современной науки. – 2015. – № 43. – С. 6–13.
7. Бретт, Дж.Р. Факторы среды и рост / Дж.Р. Бретт // Биоэнергетика и рост рыб. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – С. 275–346.
8. Буряков, Н. П. Выращивание тилапии на кормах с различным уровнем белкового концентрата «Агро-Матик» / Н. П. Буряков, Ю. И. Есавкин, А. С. Петров, И. И. Берестнев // АгроЗооТехника. – 2022. – Т. 5, № 1. – DOI 10.15838/alt.2022.5.1.2. – URL: <http://azt-journal.ru/article/29176>.

9. Буряков, Н. П. Эффективность скармливания пороссятам-отъемышам кормов с разным уровнем изолейцина и сырого протеина / Н. П. Буряков, Ю. А. Молдавский // Комбикорма. – 2024. – № 9. – С. 64–67.
10. Винберг, Г.Г. Интенсивность дыхания и пищевые потребности рыб / Г.Г. Винберг. – Минск: Изд-во БГУ, 1956. – 241 с.
11. Власов, В. А. Выращивание нильской тиляпии (*O. niloticus*) на комбикорме с добавкой «Метаболит плюс» / В. А. Власов, А. С. Пырников, А. О. Ревякин // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 127–135.
12. Галочкин, В.А. Концепция «Идеальный рацион» и перспективы ее практического применения / В.А. Галочкин, В.П. Галочкина // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – № 6. – С. 3–11.
13. Головина, Н.А. Анализ состояния и перспективные направления развития аквакультуры: научный аналитический обзор / Н.А. Головина, Н.Н. Романова, П.П. Головин [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 87 с. ISBN 978-5-7367-1534-3.
14. ГОСТ 13496.15-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. – М.: Стандартинформ, 2020. – 10 с.
15. ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
16. ГОСТ 26226-95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 8 с.
17. ГОСТ 32195-2013. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. – М.: Стандартинформ, 2014. – 23 с.
18. ГОСТ ISO 6497-2014. Корма. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2020. – 16 с.
19. ГОСТ Р 57059-2016. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Экспресс-метод определения влаги. – М.: Стандартинформ, 2016. – 8 с.

20. Гусева, Ю.А. Инновационные подходы к оптимизации белкового питания рыб / Ю.А. Гусева, А.А. Васильев, А.М. Фрэнк, А.В. Ариповский. – Саратов: Амирит, 2020. – 292 с. ISBN 978-5-00140-583-2.
21. Дворянинова, О.П. Разработка высокоценных пищевых продуктов на основе объектов аквакультуры для обеспечения сбалансированного питания населения / О.П. Дворянинова, А.В. Соколов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 254.
22. Еримбетов, К.Т. Физиологическое значение и метаболические функции лейцина, изолейцина и валина у животных / К.Т. Еримбетов, О.В. Обвинцева, О.В. Софронова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2021. – № 4. – С. 40–50.
23. Ерёмин, А.И. Отраслевая программа «Развитие товарной аквакультуры (товарного рыбоводства) в Российской Федерации на 2015-2020 годы» / А.И. Еремин. – М.: Росинформагротех, 2015. – 136 с.
24. Жигин, А.В. Аквакультура как источник функциональных продуктов питания / А.В. Жигин, М.В. Сытова, Ю.И. Есавкин // Известия ТИНРО. – 2021. – Т. 201, № 4. – С. 910–922. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2021-201-910-922>.
25. Жигин, А.В. Замкнутые системы в аквакультуре: монография / А.В. Жигин. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. – 664 с. ISBN 978-5-9675-0538-6.
26. Завьялов, А.П. Модель массонакопления и ее использование в рыбоводстве: / А.П. Завьялов, Ю.И. Есавкин. – М.: РГАУ-МСХА, 2011. – 109 с.
27. Зверев, С. Оценка качества белка бобовых культур / С. Зверев, М. Никитина // Комбикорма. – 2017. – № 4. – С. 37–41. ISSN: 2413-287X.
28. Киселева, О.В. Биотехнология пищевого белка: учеб. пособие / О.В. Киселева, В.В. Тарнопольская, П.В. Миронов. – Красноярск: Изд. СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2021.

29. Ковачева, Н.П. Аквакультура ракообразных отряда Decapoda: камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* и гигантская пресноводная креветка *Macrobrachium rosenbergii* / Н.П. Ковачева. – М.: ВНИРО, 2008. – 240 с. ISBN: 978-5-85382-011-1.
30. Колмакова, А.А. Состав аминокислот в перспективных компонентах питания радужной форели в условиях аквакультуры Красноярского края / А.А. Колмакова, В.И. Колмаков // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 363–377.
31. Кублицкас, А.К. Методика изучения жировых запасов, мясистости и весовых соотношений частей тела рыб / А.К. Кублицкас. – Вильнюс: Мокслас, 1976. – Ч. 11. – С. 104–109.
32. Кукреш, Л.В. Оценка белка зернобобовых культур по аминокислотному составу / Л.В. Кукреш, И.В. Рышкель. – 2008. – № 1. – С. 36–40. ISSN: 1817-7204.
33. Лабенец, А.В. Некоторые актуальные тенденции в российском рыбоводстве начала века / А.В. Лабенец // Аквакультура и интегрированные технологии: проблемы и возможности: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. – М.: ГНУ ВНИИР, 2005. – Т. 1. – С. 55–63.
34. Мамонтов, Ю.П. Прудовое рыбоводство. Современное состояние и перспективы развития рыбоводства в Российской Федерации / Ю.П. Мамонтов, В.Я. Складов, Н.В. Стецко. – М.: Росинформагротех, 2010. – 216 с. ISBN 978-5-73-67-0781-2.
35. Мезенова, О.Я. Оценка аминокислотной сбалансированности продуктов гидролиза вторичного рыбного сырья в качестве альтернативного источника протеинов для комбикормов индустриальной аквакультуры / О.Я. Мезенова, Д.С. Пьянов, С.В. Агафонова [и др.] // Балтийский морской форум. – 2021. – С. 79–84.
36. Методики проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Рыбы: инструктивно-методическое издание. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 160 с.

37. Мясников, Г.Г. Корма и технология кормления рыб: курс лекций / Г.Г. Мясников. – Горки: БГСХА, 2020.
38. Пазылбеков, М. Ж. Особенности технологии выращивания нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus* L.) в условиях установки с замкнутым водоснабжением (УЗВ) / М. Ж. Пазылбеков, Г. А. Кулманова, С. Ж. Асылбекова [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2019. – № 9. – С. 42–53.
39. Петрушин, А.Б. Экстерьерные профили в сравнительной оценке племенных карпов / А.Б. Петрушин, А.В. Лабенец // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 1. – С. 78–80.
40. Пищенко, Е.В. Мировые тенденции и перспективы выращивания карпа / Е.В. Пищенко, И.В. Морузи // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2022. – № 3 (194). – С. 164. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2203-01>.
41. Плохинский, Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – 2-е изд. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 367 с.
42. Плохинский, Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 367 с.
43. Поддубная, И.В. Разработка кормовых добавок для промышленного рыбоводства / И.В. Поддубная, О. Руднева, О. Гуркина, П. Тарасов, Е. Орленко. – 2024. – 110 с. ISBN: 978-5-605-13931-7.
44. Пономарев, С.В. Индустриальное рыбоводство / С.В. Пономарев, Ю.Н. Грозеску, А.А. Бахарева. – СПб.: Лань, 2013. – 416 с. ISBN: 978-5-507-54655-8.
45. Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб / И.Ф. Правдин. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1956. – 245 с.
46. Привезенцев, Ю. А. Тиляпии (систематика, биология, хозяйственное использование). – М.: РГАУ-МСХА, 2011. – 80 с. ISBN 978-5-9675-0534-8.
47. Рыжков, Л.П. Основы рыбоводства: учебник / Л.П. Рыжков, Т.Ю. Кучко, И.М. Дзюбук. – СПб.: Лань, 2011. – 528 с. ISBN 978-5-507-48950-3.

48. Салех, Х. Влияние включения L- изолейцина и других незаменимых аминокислот в комбикорма на ростовые и рыбоводные показатели тилляпии (*Oreochromis niloticus*) / Х. Салех, С. О. Шаповалов, Н. П. Буряков, Ю. И. Есавкин // Современное животноводство: задачи, проблемы, решение: материалы Национальной научно-практической конференции, г.Волгоград, 18 декабря 2025 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2026. – С.33–40.

49. Салех, Х. Влияние добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в рацион нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus*) на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани / Х. Салех, Н. П. Буряков, Ю. И. Есавкин [и др.] // Аграрная наука. – 2026. – № 5. – С. 56–64. DOI 10.32634/0869-8155-2026-406-05-56-64.

50. Салех, Х. Влияние различных концентраций L-изолейцина в кормовых смесях на рост тилляпии / Х. Салех // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича: Сборник статей, Москва, 03–05 июня 2024 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 229–233.

51. Салех, Х. Метаболизм изолейцина у рыб в условиях замкнутого водоснабжения / Х. Салех, С.О. Шаповалов // Аграрная наука-2022. – 2022. – С. 1392–1394.

52. Салех, Х. Метаболизм изолейцина у рыб в условиях замкнутого водоснабжения / Х. Салех, С. О. Шаповалов // Международная научно-практическая конференция «Сейфуллинские чтения – 19», посвященная 110-летию М.А. Гендельмана. – 2023. – Т. I, Ч. II. – С. 288–291.

53. Салех, Х. и др. Оптимизация аминокислотного питания тилляпии на основе концепции идеального белка / Х. Салех, Н. П. Буряков, С. О. Шаповалов, Ю. И. Есавкин // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2026. – № 2. – С. 55–65. DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbior.2026.2.55-65.

54. Скляров, В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре / В.Я. Скляров. – М.: ВНИРО, 2008. – 150 с. ISBN: 978-5-85382-357-0.
55. Смирнов, В.С. Применение методов морфофизиологических индикаторов в экологии рыб / В.С. Смирнов, А.М. Божко, Л.П. Рыжков, Л.Н. Добринская // Тр. СевНИОРХ. – Петрозаводск: Карелия, 1972. – Т. 7. – 168 с.
56. Строганов, Н.С. Методики определения дыхания у рыб / Н.С. Строганов // Руководство по методике исследования физиологии рыб. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 35–95.
57. Фаритов, Т.А. Кормление рыб: / Т.А. Фаритов. – СПб.: Лань, 2016. – 344 с. ISBN 978-5-8114-1918-0.
58. Фридман, А.А. Методические рекомендации по определению экономического эффекта мероприятий по рыбоводству и сырьевой базе пресноводных водоемов / А.А. Фридман. – Л.: ГосНИОРХ, 1986. – 87 с.
59. Чернышев, Н.И. Кормовые факторы и обмен веществ / Н.И. Чернышев, И.Г. Панин, Н.И. Шумский. – Воронеж: РИА «ПРОспект», 2007. – С. 51–59.
60. Шаповалов, С.О. Эффективность использования комбикормов импортного и отечественного производства при выращивании радужной форели / Николаев С. И., Карапетян А. К., Шкаленко В. В., Чехранова С. В., Морозова Е. А., Даниленко И. Ю., Шаповалов С. О., Корнилова В. А., Японцев А. Э., Корнеева О. В., Колесникова Ю. М., Каширина А. А., Лебедев С. Ю., Ицкович А. Ю., Агапов С. Ю., Рябова М. А., Липова Е. А., Брюхно О. Ю., Будтуева О. Д. /- Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2023. - 116 с. - ISBN 978-5-4479-0384-8.
61. Щербина, М.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М.А. Щербина, Е.А. Гамыгин. – М.: ВНИРО, 2006. – 360 с.
62. Японцев, А.Э. Оптимизация питательной ценности экструдированных кормов для форели с использованием кристаллических аминокислот / А.Э. Японцев [и др.] // Известия Нижневолжского

агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 4 (64). – С. 275–282.

63. Abdel-Rahim, M.M. Potential benefits of natural bentonite as a water clarifier on ammonia removal, performance, immunity, antioxidant, and histology of *Dicentrarchus labrax* / M.M. Abdel-Rahim, A.I.G. Elhetawy, W. Refaey [et al.] // Egyptian Journal of Aquatic Research. – 2023. – Vol. 49. – P. 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2023.04.002>.

64. Action, S.I. World fisheries and aquaculture / S.I. Action // Food and Agriculture Organization. – 2020. – 244 p. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.

65. Agboola, J.O. Yeast as major protein-rich ingredient in aquafeeds: a review of the implications for aquaculture production / J.O. Agboola, M. Øverland, A. Skrede, J.Ø. Hansen // Reviews in Aquaculture. – 2021. – Vol. 13. – P. 949–970. <https://doi.org/10.1111/raq.12507>.

66. Ahmad, I. Role of branched-chain amino acids on growth, physiology and metabolism of different fish species: a review / I. Ahmad, I. Ahmed, S. Fatma, H. Peres // Aquaculture Nutrition. – 2021. – P. 1–20. <https://doi.org/10.1111/anu.13267>.

67. Ahmed, I. Dietary branched-chain amino acid valine, isoleucine and leucine requirements of fingerling Indian major carp, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) / I. Ahmed, M.A. Khan // British Journal of Nutrition. – 2006. – Vol. 96, № 3. – P. 450–460. PMID: 16925849.

68. Ahmed, I. Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: a review / I. Ahmed, K. Jan, S. Fatma, M.A. Dawood // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. – 2022. – Vol. 106, № 3. – P. 690–719. <https://doi.org/10.1111/jpn.13711> . Epub 2022 Apr 8. PMID: 35395107.

69. Al Mahammad, J. The projects evolution for food security ensuring in the Arab Republic of Syria / J. Al Mahammad, R. Necula, M. Draghici // Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture Rural Development. – 2016. – Vol. 16, № 2. <https://hdl.handle.net/10419/163352>.

70. Alemayehu, T.A. The Role of Functional Feed Additives in Tilapia Nutrition / T.A. Alemayehu, A. Geremew, A. Getahun // *Fisheries and Aquaculture Journal*. – 2018. – Vol. 9, № 2. – 6 p. <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000249>.
71. Ali, A. Research Progress on Nutritional Value, Preservation and Processing of Fish—A Review / A. Ali, S. Wei, A. Ali [et al.] // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, № 22. – 3669 p. <https://doi.org/10.3390/foods11223669>.
72. Andersen, S.M. Functional amino acids in fish health and welfare / S.M. Andersen, R. Waagbø, M. Espe // *Frontiers in Bioscience*. – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. 143–169.
73. Araújo, F.E. Assessment of isoleucine requirement of fast-growing Nile tilapia fingerlings based on growth performance, amino acid retention, and expression of muscle growth-related and mTOR genes / F.E. Araújo, M. Michelato, M.O. Schemberger [et al.] // *Aquaculture*. – 2021. – Vol. 539. – 736645 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736645>.
74. Arumugam, M. Recent advances in tilapia production for sustainable developments in Indian aquaculture and its economic benefits / M. Arumugam, S. Jayaraman, A. Sridhar [et al.] // *Fishes*. – 2023. – Vol. 8, № 4. – 176 p. <https://doi.org/10.3390/FISHES8040176>.
75. Ayensu, J. Beyond Nutrients, Health Effects of Entomophagy: A Systematic Review / J. Ayensu, R.A. Annan, A. Edusei, H.E. Lutterodt // *Nutrition & Food Science*. – 2019. – Vol. 49. – P. 2–17. <https://doi.org/10.1108/NFS-02-2018-0046>.
76. Ayinde, I.A. Food security in Nigeria: impetus for growth and development / I.A. Ayinde, O.A. Otekunrin, S.O. Akinbode, O.A. Otekunrin // *Journal of Agricultural Economics*. – 2020. – Vol. 6. – P. 808–820. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.12949352>.
77. Bajić, B. Biotechnological production of sustainable microbial proteins from agro-industrial residues and by-products / B. Bajić, D. Vučurović, Đ. Vasić, R. Jevtić-Mučibabić, S. Dodić // *Foods*. – 2022. – Vol. 12, № 1. – 107 p. <https://doi.org/10.3390/foods12010107>. PMID: 36613323; PMCID: PMC9818480.

78. Balarin, J.D. Tilapia. A guide to their biology and culture in Africa / J.D. Balarin, J.P. Hatton. – Stirling: Unit of Aquatic Pathobiology, University of Stirling, 1979. – 174 p. ISBN: 9780901636232.
79. Basuki, F. Analysis on the survival rate and growth of Larasati tilapia (*Oreochromis niloticus*) F5 seed in Saline Media / F. Basuki, S. Rejeki // *Procedia Environmental Sciences*. – 2015. – Vol. 23. – P. 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.022>.
80. Beveridge, M. Aquaculture and the environment / M. Beveridge, R.E. Brummett // *Freshwater Fisheries Ecology*. – 2015. – P. 794–803. <https://doi.org/10.1002/9781118394380.ch55>.
81. Boyd, C.E. Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges / C.E. Boyd, L.R. D'Abramo, B.D. Glencross [et al.] // *Journal of the World Aquaculture Society*. – 2020. – Vol. 51, № 3. – P. 578–633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>.
82. Boyd, C.E. Handbook for aquaculture water quality / C.E. Boyd, C.S. Tucker. – 2014. – 439 p.
83. Cai, J. Tilapia as an aquaculture species / J. Cai // *Tilapia: Aquaculture, Biology and Health Management*. – GB: CABI, 2025. – P. 26–60. <https://doi.org/10.1079/9781800629455.0002>.
84. Canonico, G.C. The effects of introduced tilapias on native biodiversity / G.C. Canonico, A.H. Arthington, J.K. Mccrary, M. Thieme // *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. – 2005. – Vol. 15, № 5. – P. 463–483. <https://doi.org/10.1002/aqc.699>.
85. Chakraborty, S.B. Application of phytochemicals as immunostimulant, antipathogenic and antistress agents in finfish culture / S.B. Chakraborty, C. Hancz // *Reviews in Aquaculture*. – 2011. – Vol. 3, № 3. – P. 103–119. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2011.01048.x>.
86. Chemical Score – CS / H.H. Mitchell, R.J. Block. – 1946.
87. Chen, C. Research progress on branched-chain amino acid aminotransferases / C. Chen, H. Naveed, K. Chen // *Frontiers in Genetics*. – 2023. –

Vol. 14. – 1233669 p. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1233669>. PMID: 38028625; PMCID: PMC10658711.

88. Chen, K. Different regulation of branched-chain amino acid on food intake by TOR signaling in Chinese perch (*Siniperca chuatsi*) / K. Chen, Z. Zhang, J. Li [et al.] // *Aquaculture*. – 2021. – Vol. 530. – 735792 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735792>.

89. Cheng, H. Uncovering the Contribution of Protein Degradation and Amino Acids Metabolism to the Odor of Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) During Cold Storage: Based on the Amino Acids Metabolomics Analysis Via LC–MS / H. Cheng, J. Mei, J. Xie // *Food and Bioprocess Technology*. – 2024. – Vol. 17, № 12. – P. 5168–5183. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03448-3>.

90. De Bandt, J.P. Branched-chain amino acids and insulin resistance, from protein supply to diet-induced obesity / J.P. De Bandt, X. Coumoul, R. Barouki // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 15, № 1. – 68 p. <https://doi.org/10.3390/nu15010068>. PMID: 36615726; PMCID: PMC9824001.

91. De Castro, R.J.S. Nutritional, Functional and Biological Properties of Insect Proteins: Processes for Obtaining, Consumption and Future Challenges / R.J.S. De Castro, A. Ohara, J.G. dos Santos Aguilar, M.A.F. Domingues // *Trends in Food Science & Technology*. – 2018. – Vol. 76. – P. 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.006>.

92. De Hilde Reuse, H. Nitrogen metabolism / H. De Reuse, S. Skouloubris, H.L.T. Mobley, G.L. Mendz, S.L. Hazell // *Helicobacter pylori: Physiology and Genetics*. – Washington (DC): ASM Press, 2001. – Chapter 11. PMID: 21290714.

93. Delgado, E.B. Development and validation of a brand trust scale / E.B. Delgado, J.L. Munuera-Alemán, M.J. Yague-Guillén // *International Journal of Market Research*. – 2003. – Vol. 45, № 1. – P. 35–56. <https://doi.org/10.1177/147078530304500103>.

94. Desai, A.S. The effects of water temperature and ration size on growth and body composition of fry of common carp, *Cyprinus carpio* / A.S. Desai, R.K.

Singh // Journal of Thermal Biology. – 2009. – Vol. 34, Iss. 6. – P. 276–280.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.03.005>.

95. Dewi, S.R. Changes in the Physicochemical Properties, Microstructure & Sensory Characteristics of Shark Dendeng using Different Drying Methods / S.R. Dewi, N. Huda, R. Ahmed // American Journal of Food Technology. – 2011. – Vol. 6. – P. 149–157. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.149.157>.

96. Dey, M.M. Value chains in aquaculture and fisheries in Bangladesh / M.M. Dey, P. Surathkal // Transforming Agriculture in South Asia. – Routledge, 2020. – P. 195–210. <https://doi.org/10.4324/9781003024996-14>.

97. Dickson, M. Regional review on status and trends in aquaculture development in the Near East and North Africa–2020 / M. Dickson // FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1232/5. – Rome: FAO, 2022. <https://doi.org/10.4060/cb7818en>.

98. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Paper, 2013, 92, 1–66. PMID: 26369006.

99. Dong, Y.W. Nutritional digestion and absorption, metabolism fates alteration was associated with intestinal function improvement by dietary threonine in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon Idella*) / Y.W. Dong, W.D. Jiang, P. Wu [et al.] // Aquaculture. – 2022. – Vol. 555. – 738194 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738194>.

100. Dorothy, M. Use of potential plant leaves as ingredient in fish feed-a review / M.S. Dorothy, S. Raman, V. Nautiyal [et al.] // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 7, № 7. – P. 112–125. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.014>.

101. Du, L. Effects of dietary substitution of soy bean meal for fish meal on consumption, growth and metabolism of juvenile giant fresh water prawn, *Macrobrachium rosenbergii* / L. Du, C.J. Niu // Aquaculture Nutrition. – 2003. – Vol. 9. – P. 139–143. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2003.00239.x>.

102. El-Sayed, A.F.M. Dietary organic acid blend modulates hemato-immunological parameters, digestive and reproductive performances in red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) broodstock / A.F.M. El-Sayed, E.S.H. Eissa, B.M. Hendam [et al.] // *Fish Physiology and Biochemistry*. – 2025. – Vol. 51, № 1. – 41 p. [https://doi.org/ 10.1007/s10695-025-01459-1](https://doi.org/10.1007/s10695-025-01459-1). PMID: 39903313; PMCID: PMC11794372.

103. El-Sayed, A.F.M. Effect of dietary lipid source on spawning performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock reared at different water salinities / A.F.M. El-Sayed, K.R. Mansour, A.A. Ezzat // *Aquaculture*. – 2005. – Vol. 180. – P. 451–468. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.024>.

104. El-Sayed, A.F.M. Effect of dietary protein level on spawning performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock reared at different water salinities / A.F.M. El-Sayed, K.R. Mansour, A.A. Ezzat // *Aquaculture*. – 2003. – Vol. 220. – P. 619–632. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00221-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00221-1).

105. El-Sayed, A.F.M. From Africa to the world—The journey of Nile tilapia / A.F.M. El-Sayed, K. Fitzsimmons // *Reviews in Aquaculture*. – 2023. – Vol. 15, Suppl. 1. – P. 6–21. <https://doi.org/10.1111/raq.12738>.

106. El-Sayed, A.F.M. Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry / A.F.M. El-Sayed, S.I. Teshima // *Aquaculture*. – 1992. – Vol. 103, № 1. – P. 55–63. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90278-S](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90278-S).

107. El-Sayed, A.F.M. Regional review on status and trends in aquaculture development in the Near East and North Africa-2015 / A.F.M. El-Sayed // *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. C1135/6*. – 2017. – 44 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21359.94887>.

108. El-Sayed, A.F.M. *Tilapia culture* / A.F.M. El-Sayed. – Academic Press, 2019. – 358 p. ISBN-10: 012816509X.

109. El-Sayed, A.F.M. *Tilapia culture in salt water: environmental requirements, nutritional implication and economic potentials* / A.F.M. El-Sayed // *Avances en Nutrición Acuícola VIII*. – 2006. – P. 95–106. ISBN 970-694-333-5.

110. Eriegha, O.J. Factors affecting feed intake in cultured fish species: A review / O.J. Eriegha, P.A. Ekokotu // *Animal Research International*. – 2017. – Vol. 14, № 2. – P. 2697–2709. <https://doi.org/10.4314/ARI.V14I2>.
111. FAO. GLOBEFISH Highlights - A quarterly update on world seafood markets 1st issue 2021 January–September 2020 Statistics / FAO // *Globefish Highlights*. – 2021. – № 1–2021. – Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4129en>
112. FAO. National Aquaculture Sector Overview: Syria. http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_syria/en (также <http://www.fao.org/fishery>) 2023.
113. FAO. The Role of Aquaculture in Rural Development // *FAO Fisheries Technical Paper* № 505. – Rome, 2007. – P. 92–93.
114. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Meeting the sustainable development goals / FAO. – Rome, 2018.
115. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022 / FAO. – Rome, 2022.
116. FAO/Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific (NACA). Regional Review on Status and Trends in Aquaculture Development in Asia-Pacific – 2010 // *FAO Fisheries and Aquaculture Circular* No. 1061/5. – Rome: FAO, 2011. – 89 p. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i2311e>.
117. FAO/UNU Expert Consultation. Protein Quality Evaluation // *FAO Food and Nutrition Paper* 51. – Rome, 1990.
118. Fatan, A.N. Comparative estimation of the lysine requirements in two generations of improved strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the grow-out stage / A.N. Fatan, K. Sivajothy, R. Yossa // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9, № 6. – e17221. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17221>. PMID: 37360106; PMCID: PMC10285212.
119. Feng, W. Nutrient Composition of Ovary, Hepatopancreas and Muscle Tissues in Relation to Ovarian Development Stage of Female Swimming Crab, *Portunus trituberculatus* / W. Feng, Z. Zhao, J. Wang, T. Han // *Animals*. – 2023. – Vol. 13, № 20. – 3220 p. <https://doi.org/10.3390/ani13203220>.

120. Fernstrom, J.D. Branched-chain amino acids and brain function / J.D. Fernstrom // *Journal of Nutrition*. – 2005. – Vol. 135. – P. 1539S–1546S. <https://doi.org/10.1093/jn/135.6.1539S>. PMID: 15930466.
121. Fitzsimmons, K. Future trends of tilapia aquaculture in the Americas / K. Fitzsimmons // *Tilapia Aquaculture in the Americas*. – 2000. – Vol. 2. – P. 252–264.
122. Furuya, W.M. Amino acid requirements for Nile tilapia: An update / W.M. Furuya, T.P.D. Cruz, D.M. Gatlin III // *Animals*. – 2023. – Vol. 13, № 5. – 900 p. <https://doi.org/10.3390/ani13050900>. PMID: 36899757; PMCID: PMC10000143.
123. Gan, L. Flesh quality loss in response to dietary isoleucine deficiency and excess in fish: a link to impaired Nrf2-dependent antioxidant defense in muscle / L. Gan, W.D. Jiang, P. Wu [et al.] // *PLoS One*. – 2014. – Vol. 9, № 12. – e115129. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115129>. PMID: 25514235; PMCID: PMC4267783.
124. Geletu, T.T. Genetic resources of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) in its native range and aquaculture / T.T. Geletu, J. Zhao // *Hydrobiologia*. – 2022. – Vol. 850, № 10-11. – P. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04989-4>.
125. Ghaedi, A. Effect of different protein levels on reproductive performance of snakehead murrel *Channa striatus* (Bloch 1793) / A. Ghaedi, H. Hosseinzadeh, R. Hashim // *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. – 2019. – Vol. 18, № 4. – P. 812–829.
126. Giron, R.J.C. Exploring the Food and Nutritional Potential of Three Edibles Amazonian Arthropods / R.J.C. Girón, G.G. Hidalgo, J.E. García, P.M. Villa // *Revista de Etnobiología*. – 2017. – Vol. 15. – P. 26–31.
127. Goja, A.M. Microbiological Assessment of Three Types of Fresh Fish (*Tilapia niloticus*, *Labeo niloticus* and *Hydrocynus* spp.) Sold in Ed Dueim, Sudan / A.M. Goja // *New York Science Journal*. – 2013. – Vol. 6, № 4. – P. 49–54.

128. Gu, C. Isoleucine plays an important role for maintaining immune function / C. Gu, X. Mao, D. Chen, B. Yu, Q. Yang // *Current Protein and Peptide Science*. – 2019. – Vol. 20, № 7. – P. 644–651. <https://doi.org/10.2174/1389203720666190305163135>. PMID: 30843485.
129. Halwart, M. The role of aquaculture in rural development / M. Halwart, S. Funge-Smith, J. Moehl // *Review of the State of World Aquaculture*. – Rome: FAO, 2003. – P. 47–58.
130. Hameed, A. Success of Aquaculture Industry with New Insights of Using Insects as Feed: A Review / A. Hameed, W. Majeed, M. Naveed [et al.] // *Fishes*. – 2022. – Vol. 7, № 6. – 395 p. <https://doi.org/10.3390/fishes7060395>.
131. Hasan, M.R. On-farm feeding and feed management in aquaculture / M.R. Hasan, M.B. New // *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* № 583. – 2013. I. ISBN: E-ISBN 978-92-5-107979-9
132. Henry, M. Review on the Use of Insects in the Diet of Farmed Fish: Past and Future / M. Henry, L. Gasco, G. Piccolo, E. Fountoulaki // *Animal Feed Science and Technology*. – 2015. – Vol. 203. – P. 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>.
133. Hochachka, P.W. Metabolic biochemistry and the making of a mesopelagic mammal / P.W. Hochachka. – Amsterdam; New York: Elsevier, 1995. – Vol. 48. – P. 570–575. <https://doi.org/10.1007/BF01920241>. PMID: 1612137.
134. Hoerterer, C. Effects of dietary plant and animal protein sources and replacement levels on growth and feed performance and nutritional status of market-sized turbot (*Scophthalmus maximus*) in RAS / C. Hoerterer, J. Petereit, G. Lannig [et al.] // *Frontiers in Marine Science*. – 2022. – Vol. 9. – 1023001 p. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1023001>.
135. Holeček, M. Branched-chain amino acids in health and disease: metabolism, alterations in blood plasma, and as supplements / M. Holeček // *Nutrition & Metabolism*. – 2018. – Vol. 15. – Art. 33. <https://doi.org/10.1186/s12986-018-0271-1>.

136. Hough, C. Regional review on status and trends in aquaculture development in Europe–2020 / C. Hough // FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1232/1. – Rome: FAO, 2022. <https://doi.org/10.4060/cb7809en>.
137. Hua, K. A Meta-Analysis of the Effects of Replacing Fish Meals with Insect Meals on Growth Performance of Fish / K. Hua // Aquaculture. – 2021. – Vol. 530. – 735732 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735732>.
138. Hua, K. The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets / K. Hua, J.M. Cobcroft, A. Cole [et al.] // One Earth. – 2019. – Vol. 1, № 3. – P. 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>.
139. Jannathulla, R. Fishmeal availability in the scenarios of climate change: Inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources / R. Jannathulla, V. Rajaram, R. Kalanjiam [et al.] // Aquaculture Research. – 2019. – Vol. 50, № 12. – P. 3493–3506. <https://doi.org/10.1111/are.14324>
140. Jauralde, I. Protein and energy requirements for maintenance and growth in Juvenile Meagre *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) (Sciaenidae) / I. Jauralde, J. Velazco-Vargas, A. Tomás-Vidal [et al.] // Animals. – 2021. – Vol. 11, № 1. – 77 p. <https://doi.org/10.3390/ani11010077>. PMID: 33406766; PMCID: PMC7823913.
141. Jiang, Q. Dietary isoleucine improved flesh quality, muscle antioxidant capacity, and muscle growth associated with AKT/TOR/S6K1 and AKT/FOXO3a signaling in hybrid bagrid catfish (*Pelteobagrus vachelli*♀ × *Leiocassis longirostris*♂) / Q. Jiang, M. Yan, Y. Zhao [et al.] // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2021. – Vol. 12, № 1. – 53 p. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00572-4>. PMID: 33866964; PMCID: PMC8054373.
142. Jindal, M. Effect of Two Dietary Protein Levels on Body Weight and Composition in *Channa punctatus* (Bloch.) Fingerling / M. Jindal, N.K. Yadava, K.L. Jain, R. Kumar // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2010. – № 10. – P. 203–208. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2010.0207>.

143. Jobling, M. Fish nutrition research: past, present and future / M. Jobling // *Aquaculture International*. – 2016. – Vol. 24, № 3. – P. 767–786. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9875-2>.
144. Jobling, M. *Tilapia: Biology, Culture and Nutrition* / M. Jobling, C. Lim, C.D. Webster (eds). – New York: The Haworth Press, 2007. – 678 p. ISBN 978-1-56022-318-4. <https://doi.org/10.1007/S10499-007-9095-0>.
145. Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition // *World Health Organ Tech Rep Ser*. – 2007. – № 935. – P. 1–265. PMID: 18330140.
146. Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Energy and protein requirements // *World Health Organ Tech Rep Ser*. – 1985. – № 724. – P. 1–206. PMID: 3937340.
147. Kader, M.A. Effect of replacing fishmeal with palm kernel meal supplemented with crude attractants on growth performance of *Macrobrachium rosenbergii* / M.A. Kader, M. Bulbul, A.B. Abol-Munafi [et al.] // *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*. – 2018. – Vol. 11, № 1. – P. 158–166.
148. Kaleem, O. Overview of aquaculture systems in Egypt and Nigeria, prospects, potentials, and constraints / O. Kaleem, A.F.B.S. Sabi // *Aquaculture and Fisheries*. – 2021. – Vol. 6, № 6. – P. 535–547. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.07.017>.
149. Kalinina, L. Prospects of development of aquaculture in Russia and its regions / L. Kalinina, I. Zelenskaya, S. Trufanova, N. Kalinin // *E3S Web of Conferences*. – 2019. – Vol. 81. – Art. 01008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198101008>.
150. Kaushik, S.J. Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: current knowledge and future needs / S.J. Kaushik, I. Seiliez // *Aquaculture Research*. – 2010. – Vol. 41. – P. 322–332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02174.x>
151. Khan, M.A. Dietary isoleucine requirement of fingerling Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) / M.A. Khan, S.F. Abidi // *Aquaculture Nutrition*. –

2007. – Vol. 13, № 6. – P. 424–430. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2007.00493.x>.

152. Kolmakova, V.I. Amino acids in prospective feeds for fish aquaculture: a review of experimental data / V.I. Kolmakov, A.A. Kolmakova // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2020. – Vol. 13, № 4. – P. 424–442. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0332>.

153. Kumar, P. Alternate feeding strategies for optimum nutrient utilization and reducing feed cost for semi-intensive practices in aquaculture system-A review / P. Kumar, K.K. Jain, S. MunilKumar, S.A. Sudhagar // Agricultural Reviews. – 2017. – Vol. 38, № 2. – P. 145–151. <https://doi.org/10.18805/ag.v38i02.7946>.

154. Kumar, R. The regulation of shrimp metabolism by the white spot syndrome virus (WSSV) / R. Kumar, J.Y. Huang, Y.S. Ng, C.Y. Chen, H.C. Wang // Reviews in Aquaculture. – 2022. – Vol. 14, № 3. – P. 1150–1169. <https://doi.org/10.1111/raq.12643>.

155. Lall, S.P. Nutrition, feeding, and behavior of fish / S.P. Lall, S.M. Tibbetts // Vet Clin North Am Exot Anim Pract. – 2009. – Vol. 12, № 2. – P. 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2009.01.005>. PMID: 19341962.

156. Lall, S.P. Nutritional requirements of cultured fish: Formulating nutritionally adequate feeds / S.P. Lall, A. Dumas // Feed and feeding practices in aquaculture. – Woodhead Publishing, 2022. – P. 65–132. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00005-9>.

157. Lay, S. Assessment of Fatty Acid Profiles and Proximate Composition of Ten Cambodian Farmed Freshwater Fish / S. Lay, C. Phat, H. Mith [et al.]. – Available at SSRN 5097239.

158. Li, H. MiR-125a-3p-KLF15-BCAA regulates the skeletal muscle branched-chain amino acid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during starvation / H. Li, X. An, L. Bao [et al.] // Frontiers in Genetics. – 2020. – Vol. 11. – P. 852. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00852>.

159. Li, X. Nutrition and functions of amino acids in fish / X. Li, S. Zheng, G. Wu // *Amino Acids in Nutrition and Health*. – Cham: Springer, 2021. – P. 133–168. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_8. PMID: 33770406.
160. Liland, N.S. A Meta-Analysis on the Nutritional Value of Insects in Aquafeeds / N.S. Liland, P. Araujo, X.X. Xu [et al.] // *Journal of Insects as Food and Feed*. – 2021. – Vol. 7. – P. 743–760. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0147>.
161. Lim, C.E. Tilapia: Biology, Culture and Nutrition / C.E. Lim, C.D. Webster // *African Journal of Aquatic Science*. – 2008. – Vol. 33, № 1. – 103 p. <https://doi.org/10.2989/AJAS.2008.33.1.14.415>.
162. Ling, Z.N. Amino acid metabolism in health and disease / Z.N. Ling, Y.F. Jiang, J.N. Ru [et al.] // *Signal Transduction and Targeted Therapy*. – 2023. – Vol. 8, № 1. – P. 345. <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01569-3>.
163. Lopez, A. Sturgeon meat and caviar quality from different cultured species / A. Lopez, M. Vasconi, F. Bellagamba, T. Mentasti, V.M. Moretti // *Fishes*. – 2020. – Vol. 5, № 1. – 9 p. <https://doi.org/10.3390/fishes5010009>.
164. Lopez, M.J. Biochemistry, essential amino acids / M.J. Lopez, S.S. Mohiuddin // *StatPearls [Internet]*. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025. PMID: 32496725.
165. Lovell, T. Feeding tilapias / T. Lovell // *Nutrition and Feeding of Fish*. – Boston, MA: Springer US, 1998. – P. 215–225. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4909-3_12.
166. Lu, X. Effects of dietary protein levels on growth, muscle composition, digestive enzymes activities, hemolymph biochemical indices and ovary development of pre-adult red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) / X. Lu, D. Peng, X. Chen [et al.] // *Aquaculture Reports*. – 2020. – Vol. 18. – 100542 p. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100542>.
167. Mager, D.R. Branched-chain amino acid requirements in school-aged children determined by indicator amino acid oxidation (IAAO) / D.R. Mager, L.J. Wykes, R.O. Ball, P.B. Pencharz // *Journal of Nutrition*. – 2003. – Vol. 133. – P. 3540–3545. <https://doi.org/10.1093/jn/133.11.3540>. PMID: 14608071.

168. Mahdy, M.A. Use of yeasts in aquaculture nutrition and immunostimulation: A review / M.A. Mahdy, M.T. Jamal, M. Al-Harb, B. Al-Mur, M.F. Haque // *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. – 2022. – Vol. 10, № 5. – P. 59–65. <https://doi.org/10.7324/JABB.2022.100507>.
169. Mahfuzuddin Ahmed. Improving developing country food security through aquaculture development—lessons from Asia / M. Ahmed, M.H. Loriga // *Food Policy*. – 2002. – Vol. 27, № 2. – P. 125–141. [https://doi.org/10.1016/S0306-9192\(02\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0306-9192(02)00007-6).
170. Majluf, P. A review of the global use of fishmeal and fish oil and the Fish In: Fish Out metric / P. Majluf, K. Matthews, D. Pauly, D. Skerritt // *Science Advances*. – 2024. – Vol. 10, № 42. – eadn5650. PMID: 39413173; PMCID: PMC11482318.
171. Manam, V.K. Fish feed nutrition and its management in aquaculture / V.K. Manam // *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. – 2023. – Vol. 11, Iss. 2, Part A. – P. 58–61. <https://doi.org/10.22271/fish.2023.v11.i2a.2791>.
172. Marinchenko, T.E. Aquaculture in the World and Russia: State and prospects / T.E. Marinchenko // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Vol. 715, № 1. – Art. 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/715/1/012052>.
173. Marijani, E. Occurrence of fungi and mycotoxins in fish feeds and their impact on fish health / E. Marijani, E. Kigadye, S. Okoth // *International Journal of Microbiology*. – 2019. – Vol. 6. – P. 1–17. <https://doi.org/10.1155/2019/6743065>.
174. McAndrew, B.J. Evolution, phylogenetic relationships and biogeography / B.J. McAndrew, M. Beveridge // *Tilapias: Biology and exploitation*. – Dordrecht: Academic Publishers, 2000. – Vol. 25. – P. 1–32. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4008-9_1.
175. Meitei, M.M. Effective Valorization of Precision Output of Algaquaculture towards Eco-Sustainability and Bioeconomy Concomitant with Biotechnological Advances: An Innovative Concept / M.M. Meitei, S.K. Singh,

Y.A. Mangang [et al.] // *Cleaner Waste Systems*. – 2022. – Vol. 3. – 100026 p.
<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100026>.

176. Mikhailova, M.V. Differences in nutritional value of various fish products expressed by the amino acid profiles of their water-soluble fractions / M.V. Mikhailova [et al.] // *IJMH*. – 2019. – Vol. 4. – P. 1–5.

177. Millward, D.J. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health / D.J. Millward, D.K. Layman, D. Tomé, G. Schaafsma // *Am J Clin Nutr*. – 2008. – Vol. 87, № 5. – P. 1576S–1581S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1576S>. PMID: 18469291.

178. Mirea, C. Influence of different water temperature on intensive growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) in a recirculating aquaculture system / C. Mirea, V. Cristea, I.R. Grecu, L. Dediu // 2013. – P. 227–231.

179. Mobsby, D. Australian fisheries and aquaculture outlook 2020 / D. Mobsby, A. Steven, R. Curtotti // *Abares Canberra*. – 2020. – P. 9.
<https://doi.org/10.25814/5e4377eb3eea2>

180. Mohanty, B.P. Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security / B.P. Mohanty, A. Mahanty, S. Ganguly [et al.] // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 293. – P. 561–570.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.039>. Epub 2017 Nov 12. PMID: 31151648.

181. Moughan, P.J. Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on / P.J. Moughan, W.X.J. Lim // *Front Nutr*. – 2024. – Vol. 11. – 1389719 p.
<https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719>. PMID: 39021594; PMCID: PMC11252030.

182. Myers, G.S. Fresh water fishes and West Indian Zoogeography / G.S. Myers // *Smithsonian Report for 1938 (publ. 3465)*. – 1938. – P. 339–364.

183. Neinast, M. Branched chain amino acids / M. Neinast, D. Murashige, Z. Arany // *Annual Review of Physiology*. – 2019. – Vol. 81. – P. 139–164.

<https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-020518-114455>. Epub 2018 Nov 28. PMID: 30485760; PMCID: PMC6536377.

184. Ng, W.K. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle / W.K. Ng, N. Romano // *Reviews in Aquaculture*. – 2013. – Vol. 5, № 4. – P. 220–254. <https://doi.org/10.1111/raq.12014>.

185. Nguyen, L. Efficacy of reduced protein diets and the effects of indispensable amino acid supplements for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* / L. Nguyen, H. Dinh, D.A. Davis // *Animal Feed Science and Technology*. – 2020. – Vol. 268. – 114593 p. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2020>.

186. Nguyen, L. Optimizing amino acid balance in diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* / L. Nguyen, S.M. Salem, G. Salze, H. Dinh, D.A. Davis // *Aquaculture*. – 2020. – Vol. 515. – 734566 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734566>.

187. Nishimura, Y. Dietary protein requirements and recommendations for healthy older adults: a critical narrative review of the scientific evidence / Y. Nishimura, G. Højfeldt, L. Breen, I. Tetens, L. Holm // *Nutrition Research Reviews*. – 2023. – Vol. 36, № 1. – P. 69–85. <https://doi.org/10.1017/S0954422421000329>.

188. Novodworski, J. Protein Requirements of Fattening Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fed Fish Meal-Free Diets / J. Novodworski, É.J.A. Matos, R.M. Gonçalves, R.A. Bombardelli, F. Meurer // *Aquaculture Journal*. – 2024. – Vol. 4, № 3. – P. 135–147. <https://doi.org/10.3390/aquacj4030010>

189. Ogello, E.O. Complete replacement of fish meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) grow-out with alternative protein sources. A review / E.O. Ogello, J.M. Munguti, Y. Sakakura, A. Hagiwara // 2014. – Vol. 2. – P. 962–978.

190. Okoro, C.C. Quality Assessment of a Nigerian Marine Fish, Mullet (*Liza falcipinnis*) under Different Storage Conditions / C.C. Okoro, O.O. Aboaba, O.J. Babajide // *New York Science Journal*. – 2010. – Vol. 3, № 8. – P. 21–28.

191. Oswald, A.T.O. Nutritional Evaluation of Nannochloropsis Powder and Lipid as Alternative to Fish Oil for Kuruma Shrimp, *Marsupenaeus Japonicus* / A.T.O. Oswald, M. Ishikawa, S. Koshio [et al.] // *Aquaculture*. – 2019. – Vol. 504. – P. 427–436. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.028>.
192. Oweis, T. Indigenous water-harvesting systems in West Asia and North Africa / T. Oweis, A. Hachum, A. Bruggeman. – 2004. – 173 p.
193. Oziransky, Yu. Tilapia (Tilapini) as one of the main objects of modern aquaculture. Experience of cultivation in Israel / Yu. Oziransky, N. Kolesnyk, M. Simon [et al.] // *Ribogospodars'ka Nauka Ukraïni*. – 2018. – № 3(45). – P. 50–88. <https://doi.org/10.15407/fsu2018.03.050>.
194. Ozório, R.O.A. Effects of dietary yeast (*Saccharomyces cerevisia*) supplementation in practical diets of tilapia (*Oreochromis niloticus*) / R.O.A. Ozório, L. Portz, R. Borghesi, J.E.P. Cyrino // *Animals*. – 2012. – Vol. 2. – P. 16–24. <https://doi.org/10.3390/ani2010016>.
195. Patel, S. Edible Insects as Innovative Foods: Nutritional and Functional Assessments / S. Patel, H.A.R. Suleria, A. Rauf // *Trends in Food Science & Technology*. – 2019. – Vol. 86. – P. 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.033>.
196. Pedrazzani, A.S. Tilapia on-farm welfare assessment protocol for semi-intensive production systems / A.S. Pedrazzani [et al.] // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2020. – Vol. 7. – 606388 p.
197. Pereira, W.A. Navigating post-pandemic tilapia farming: a systematic review and meta-analysis of probiotic as a strategy for sustainable production / W.A. Pereira, I.L. Reis, A. Villasante [et al.] // *Rev Fish Biol Fisheries*. – 2025. – Vol. 35. – P. 95–116. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09917-4>
198. Pollegioni, L. Advances in enzymatic synthesis of D-amino acids / L. Pollegioni, E. Rosini, G. Molla // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – Vol. 21, № 9. – 3206 p. <https://doi.org/10.3390/ijms21093206>
199. Popma, T. Tilapia life history and biology / T. Popma, M. Masser. – Southern Regional Aquaculture Center, USA, 1999. – 283 p.

2000. Porcino, N. Review on alternative meals for gilthead seabream, *Sparus aurata* / N. Porcino, L. Genovese // *Aquaculture Research*. – 2022. – Vol. 53, № 6. – P. 2109–2145. <https://doi.org/10.1111/are.15770>.

201. Prabu, E. Tilapia—an excellent candidate species for world aquaculture: a review / E. Prabu, C.B.T. Rajagopalsamy, B. Ahilan [et al.] // *Annual Research & Review in Biology*. – 2019. – Vol. 31, № 3. – P. 1–14. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2019/V31I330052>.

202. Pullin, R.S.V. The biology and culture of Tilapias / R.S.V. Pullin, R.H. Lowe-McConnell. – Manila: ICLARM, 1982. – 432 p.

203. Radhakrishnan, G. Dietary protein requirement for maintenance, growth, and reproduction in fish: A review / G. Radhakrishnan, B.S. Yashwanth, V.S.M. Shivkumar [et al.] // *Journal of Entomology and Zoology Studies*. – 2020. – Vol. 8, № 4. – P. 208–215.

204. Reifenberg, P. Branched-chain amino acids: physico-chemical properties, industrial synthesis and role in signaling, metabolism and energy production / P. Reifenberg, A. Zimmer // *Amino Acids*. – 2024. – Vol. 56, № 1. – 51 p. <https://doi.org/10.1007/s00726-024-03417-2>.

205. Robisalmi, A. Growth Evaluation of Red Tilapia (*Oreochromis spp*) Under Different Cycles of Fasting and Re-Feeding / A. Robisalmi // *Berita Biologi*. – 2022. – Vol. 21, № 3. – P. 231–244. <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v21i3.4040>.

206. Saad, A. The fisheries and aquaculture in Syria, status and development perspective in Syria / A. Saad // *Syrian Economic Bulletin*. – 2010. – Vol. 1. – P. 113–136.

207. Samy-Kamal, M. Overview of fisheries governance and policy system in the Russian Federation: An analysis against the Marine Stewardship Council (MSC) standard / M. Samy-Kamal // *Ocean & Coastal Management*. – 2020. – Vol. 197. – 105312 p. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105312>.

208. Schaafsma, G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)--a concept for describing protein quality in foods and food ingredients:

a critical review / G. Schaafsma // J AOAC Int. – 2005. – Vol. 88, № 3. – P. 988–994. PMID: 16001875.

209. Schaafsma, G. The protein digestibility-corrected amino acid score / G. Schaafsma // J Nutr. – 2000. – Vol. 130, № 7. – P. 1865S–1867S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1865S>. PMID: 10867064.

210. Shadieva, L.A. Effect of feed composition on the nutritional value of meat of African catfish / L.A. Shadieva, E.M. Romanova, V.N. Lyubomirova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2020. – Vol. 27. – 00134 p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202700134>.

211. Sharf, Y. Effect of dietary isoleucine level on growth, protein retention efficiency, haematological parameter, lysozyme activity and serum antioxidant status of fingerling *Channa punctatus* (Bloch) / Y. Sharf, M.A. Khan // Aquaculture Nutrition. – 2020. – Vol. 26, № 5. – P. 908–920. <https://doi.org/10.1111/anu.13049>.

212. Shiau, S.Y. Carbohydrate utilization and digestibility by tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*, are affected by chromic oxide inclusion in the diet / S.Y. Shiau, H.S. Liang // J Nutr. – 1995. – Vol. 125, № 4. – P. 976–982. <https://doi.org/10.1093/jn/125.4.976>. PMID: 7722702.

213. Shiau, S.Y. Carbohydrate utilization by tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) as influenced by different chromium sources / S.Y. Shiau, M.J. Chen // J Nutr. – 1993. – Vol. 123, № 10. – P. 1747–1753. <https://doi.org/10.1093/jn/123.10.1747>. PMID: 8410367.

214. Shikha, F.H. Changes in Physico-Chemical and Microbiological Parameters of Pangas (*Pangasius pangasius*) Muscle During Ice Storage / F.H. Shikha, M.I. Hossain, S. Yeasmin // Journal of Environmental Science & Natural Resources. – 2021. – Vol. 12, № 1–2. – P. 199–208. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v12i1-2.52037>.

215. Stickney, R.R. Aquaculture: An introductory text / R.R. Stickney, D.M. Gatlin. – CABI, 2022. – 360 p. <https://doi.org/10.1079/9781800621145.0000>. ISBN: 9781800621121.

216. Suresh, A. Tilapia culture in saline waters: a review / A. Suresh, C.K. Lin // *Aquaculture*. – 1992. – Vol. 106, № 3-4. – P. 201–226. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90253-H](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90253-H).
217. Suresh, P.V. Sustainable valorization of seafood processing by-product/discard / P.V. Suresh, T.G. Kudre, L.C. Johny // *Waste to Wealth*. – 2018. – P. 111–139. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7431-8_7.
218. Szczepański, A. Lupin: A promising alternative protein source for aquaculture feeds / A. Szczepański, D. Adamek-Urbańska, R. Kasprzak [et al.] // *Aquaculture Reports*. – 2022. – Vol. 26. – 101281 p. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101281>.
219. Tacon, A.G.J. Cage aquaculture: a global overview / A.G.J. Tacon, M. Halwart // *Cage aquaculture: Regional reviews and global overview*. FAO Fisheries Technical Paper No. 498. – Rome: FAO, 2007. – P. 1–16.
220. Teles, A.O. Dietary protein requirements of fish—a meta-analysis / A.O. Teles, A. Couto, P. Enes, H. Peres // *Reviews in Aquaculture*. – 2020. – Vol. 12, № 3. – P. 1445–1477. <https://doi.org/10.1111/raq.12391> (104).
221. Torres, D.M. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) / D.M. Torres-Novoa, V.L. Hurtado-Nery // *Orinoquia*. – 2012. – Vol. 16, № 1. – P. 63–68.
222. Torres, N. Amino Acid Catabolism: An Overlooked Area of Metabolism / N. Torres, S. Tobón-Cornejo, L.A. Velazquez-Villegas [et al.] // *Nutrients*. – 2023. – Vol. 15, № 15. – 3378 p. <https://doi.org/10.3390/nu15153378>.
223. Tran, H.Q. Systematic Review and Meta-Analysis of Production Performance of Aquaculture Species Fed Dietary Insect Meals / H.Q. Tran, T.T. Nguyen, M. Prokešová [et al.] // *Reviews in Aquaculture*. – 2022. – Vol. 14. – P. 1637–1655. <https://doi.org/10.1111/raq.12666>.
224. Trushenski, J.T. Challenges and opportunities in finfish nutrition / J.T. Trushenski, C.S. Kasper, C.C. Kohler // *North American Journal of Aquaculture*. – 2006. – Vol. 68. – P. 122–140. <https://doi.org/10.1577/A05-006.1>.

225. Uchida, R.N. Tank culture of tilapia / R.N. Uchida, J.E. King // U.S. Fish and Wildlife Service Fishery Bulletin. – 1962. – Vol. 199. – P. 21–47.
226. Uneke, B.I. Condition factor of tilapia Species in Ebonyi River, Southeastern Nigeria / B.I. Uneke // International Journal of Biological Sciences and Applications. – 2015. – Vol. 2, № 4. – P. 33–36.
227. Uran, P.A. Soy meal induces intestinal inflammation in common carp (*Cyprinus carpio* L.) / P.A. Uran, A.A. Goncalves, J.J. Taverne-Thiele [et al.] // Fish & Shellfish Immunology. – 2008. – Vol. 25. – P. 751–760. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2008.02.013760>.
228. Vidakovic, A. Growth performance, nutrient digestibility and intestinal morphology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed graded levels of the yeasts *Saccharomyces cerevisiae* and *Wickerhamomyces anomalus* / A. Vidakovic, D. Huyben, H. Sundh [et al.] // Aquaculture Nutrition. – 2020. – Vol. 26. – P. 275–286. <https://doi.org/10.1111/anu.12988>.
229. Von Eschen, A.J. Influence of amino acid supplementations in juvenile yellow perch fed plant protein combinations / A.J. Von Eschen, M.L. Brown, K. Rosentrater // Open Journal of Animal Sciences. – 2019. – Vol. 9, № 2. – P. 183–195. <https://doi.org/10.4236/ojas.2019.92016>.
230. Wang, J. Corn-starch based formulated diet has growth and feed utilization efficiency advantages over trash fish diet for juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* / J. Wang, D.M. Gatlin III, G. Wu [et al.] // Aquaculture Reports. – 2022. – Vol. 26. – 101303 p. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101303>.
231. Wang, L. Interactive effects of dietary leucine and isoleucine on growth, blood parameters, and amino acid profile of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* / L. Wang, Y. Han, Z. Jiang [et al.] // Fish Physiology and Biochemistry. – 2017. – Vol. 43, № 5. – P. 1265–1278. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0370-3>. Epub 2017 Apr 12. PMID: 28401329.
232. Watanabe, W.O. Hatchery production of Florida red tilapia seed in brackish water tanks under natural-mouth brooding and clutch-removal methods /

W.O. Watanabe, S.J. Smith, R.I. Wicklund, B.L. Olla // Aquaculture. – 1992. – Vol. 102. – P. 77–88. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90290-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90290-2).

233. Watanabe, W.O. The ontogeny of salinity tolerance in the tilapias *Oreochromis aureus*, *O. niloticus* and *O. mossambicus* × *O. niloticus* hybrid, spawned and reared in freshwater / W.O. Watanabe, C.M. Kuo, M.C. Huang // Aquaculture. – 1985. – Vol. 47. – P. 353–367. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(85\)90220-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90220-0).

234. Whitfield, A.K. The distribution of the fresh water cichlid *Sarotherodon mossambica* in estuarine systems / A.K. Whitfield, S.J.M. Blaber // Environmental Biology of Fishes. – 1979. – Vol. 4. – P. 77–81. <https://doi.org/10.1007/BF00005931>.

235. Wilson, R.P. Amino acid requirements of finfish and crustaceans / R.P. Wilson // Amino Acids in Animal Nutrition. – Wallingford, UK: CABI Publishing, 2003. – P. 427–447. <https://doi.org/10.1079/9780851996547.0427>.

236. Wu, G. Functional amino acids in growth, reproduction, and health / G. Wu // Advances in Nutrition. – 2010. – Vol. 1, № 1. – P. 31–37. <https://doi.org/10.3945/an.110.1008>.

237. Wu, G. The “ideal protein” concept is not ideal in animal nutrition / G. Wu, P. Li // Experimental Biology and Medicine. – 2022. – Vol. 247, № 13. – P. 1191–1201. <https://doi.org/10.1177/15353702221082658>.

238. Wu, G. (Ed.). Amino Acids in Nutrition and Health / G. Wu // Advances in Experimental Medicine and Biology. – 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1>.

239. Xing, S. Essential amino acid requirements of fish and crustaceans, a meta-analysis / S. Xing, X. Liang, X. Zhang [et al.] // Reviews in Aquaculture. – 2023. – Vol. 16, № 3. – P. 1069–1086. <https://doi.org/10.1111/raq.12886>.

240. Yadav, G. Effective valorization of microalgal biomass for the production of nutritional fish-feed supplements / G. Yadav, D.K. Meena, A.K. Sahoo, B.K. Das, R. Sen // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 243. – 118697 p. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118697>.

241. Yang, B. Soybean isoflavones improve the health benefits, flavour quality indicators and physical properties of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) / B. Yang, W.D. Jiang, P. Wu [et al.] // PLoS ONE. – 2019. – Vol. 14, № 1. – e0209570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209570>.
242. Yang, S.D. Assessment of dietary lysine requirement for silver perch (*Bidyanus bidyanus*) juveniles / S.D. Yang, F.G. Liu, C.H. Liou // Aquaculture. – 2011. – Vol. 312, № 1-4. – P. 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.011>.
243. Yang, S.D. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* / S.D. Yang, C.H. Liou, F.G. Liu // Aquaculture. – 2002. – Vol. 213. – P. 363–372. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00120-5).
244. Yi, L. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species / L. Yi, C.M. Lakemond, L.M. Sagis [et al.] // Food Chem. – 2013. – Vol. 141, № 4. – P. 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>. Epub 2013 Jun 6. PMID: 23993491.
245. Yimer, A.M. Growth Performance of Three Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L., 1758) Populations in Pond System / A.M. Yimer, A. Dagne // International Journal of Aquaculture. – 2018. – Vol. 8, № 9. – P. 65–72. <https://doi.org/10.5376/ija.2018.08.0009>.
246. Yossa, R. Revaluating the dietary methionine requirements in an improved strain of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) / R. Yossa, N.A. Fatan, K. Palanivelu // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, № 3. – e14376. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17221>. PMID: 37360106; PMCID: PMC10285212.
247. Younis, E.S.M. Effect of Dietary Fish Meal Replacement by Red Algae, *Gracilaria Arcuata*, on Growth Performance and Body Composition of Nile Tilapia *Oreochromis Niloticus* / E.S.M. Younis, A.S. Al-Quffail, N.A. Al-Asgah [et al.] // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2018. – Vol. 25. – P. 198–203.

<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.06.012>. Epub 2017 Jun 20. PMID: 29472765; PMCID: PMC5816004.

248. Yusoff, F.M. Impacts of COVID-19 on the aquatic environment and implications on aquatic food production / F.M. Yusoff, A.F. Abdullah, A.Z. Aris, W.A.D. Umi // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, № 20. – 11281 p. <https://doi.org/10.3390/su132011281>.

СПИСОК СОЕРАЩЕНИЙ

АК- Аминокислоты

BCAA- Branched-Chain Amino Acids / аминокислоты с разветвлённой боковой цепью

SGR- Удельная скорость роста

FCR- Feed Conversion Ratio / коэффициент конверсии корма.

EAA- НАК - Essential Amino Acids / незаменимые аминокислоты.

DAA- Dispensible / Dietary Amino Acids / заменимые аминокислоты.

PER- Protein Efficiency Ratio / коэффициент эффективности белка.

SPC- Soy Protein Concentrate / Концентрат соевого белка

DDGS- Dried Distillers Grains with Solubles / сухая барда с растворимыми веществами или сухие зерновые дрожжи.

ВЭЖХ- Высокоэффективная жидкостная хроматография

АКС- Аминокислотный скор

ИНАК- Индекс незаменимых аминокислот

PDAAS- Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score /аминокислотный скор с поправкой на перевариваемость белка.

DIAAS- Digestible Indispensable Amino Acid Score / показатель усвояемости незаменимых аминокислот.

БЦ- Биологическая ценность

КРАС- Коэффициент рациональности аминокислотного состава

УРК- Удельный расход кислорода

СП- Сырой протеин

СК- Сырая клетчатка

CV- Coefficient of Variation / коэффициент вариации.

АСВ- Абсолютно сухое вещество

НВ- Натуральной вещество

ПРИЛОЖЕНИЕ А



1. Диплом Золотая медаль 2023

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



2. Диплом Золотая медаль 2024



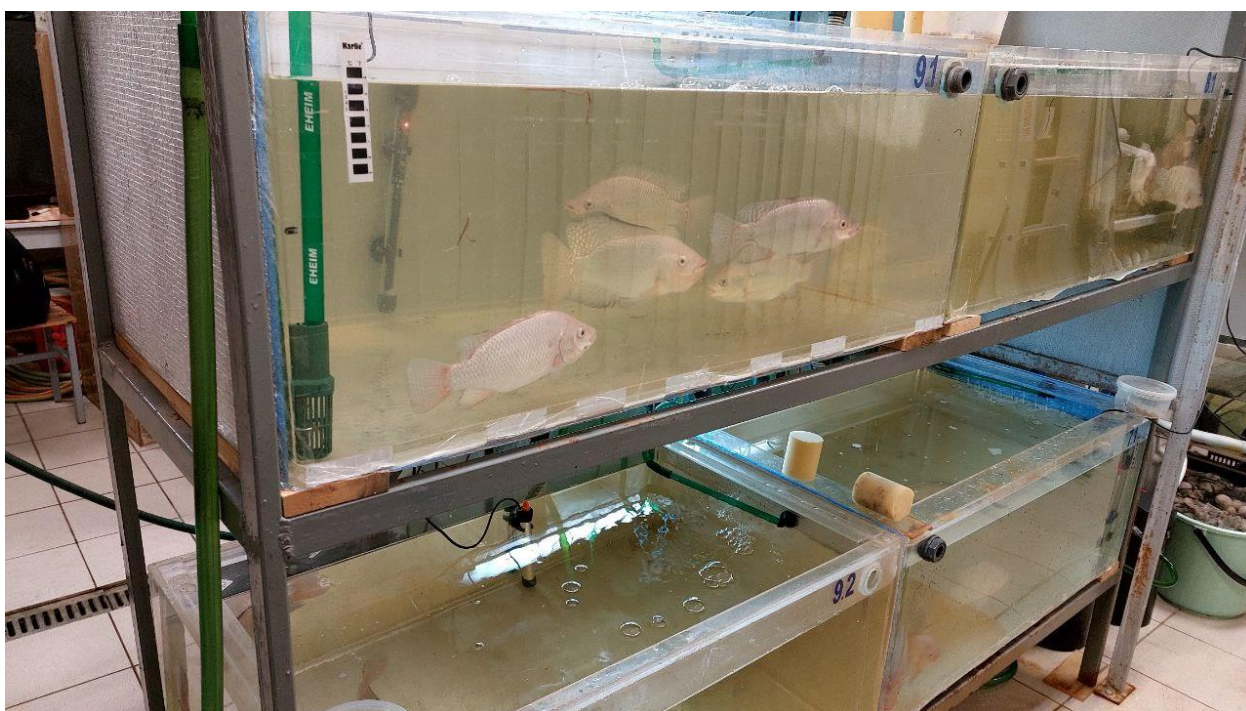
3. Молодь тилапии в начале эксперимента

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



4. Молодь до 150 г тилапии в эксперименте

ПРИЛОЖЕНИЕ Д



5. Молодь до 300 г тилапии в эксперименте



6. Товарный продукт тилапии



7. Товарный продукт тилляпии



8. Товарный продукт тилапии



9. Товарный продукт тилыпии



10. Измерено экстерьера тиляпии



11. Измерено екстеръера тилапии

ПРИЛОЖЕНИЕ Н



12. Измерено экстерьера тилапии

ПРИЛОЖЕНИЕ О



13. Измерено экстерьера тилапии

ПРИЛОЖЕНИЕ П



ПРИЛОЖЕНИЕ Р

14. Измерено экстерьера тилляпии



15. Измерено кислород в аквариуме

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2864965

Способ повышения продуктивности рыбы

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Авторы: *Буряков Николай Петрович (RU), Шаповалов Сергей Олегович (RU), Есавкин Юрий Иванович (RU), Салех Хатем (RU), Алешин Дмитрий Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2025118726

Приоритет изобретения 07 июля 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 30 июня 2026 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 07 июля 2045 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 00a570e4f7dd38f531b4b8818e75f29506
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 04.07.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2864967

Способ повышения продуктивности рыбы

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Авторы: *Буряков Николай Петрович (RU), Шаповалов Сергей Олегович (RU), Есавкин Юрий Иванович (RU), Салех Хатем (RU), Алешин Дмитрий Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2025118728

Приоритет изобретения 07 июля 2025 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 30 июня 2026 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 07 июля 2045 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат 00a570e47ad418d531b4b8818e75f29506
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 04.07.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2864975

Способ повышения продуктивности рыбы

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Авторы: *Буряков Николай Петрович (RU), Шаповалов Сергей Олегович (RU), Есавкин Юрий Иванович (RU), Салех Хатем (RU), Алешин Дмитрий Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2025118725

Приоритет изобретения 07 июля 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 30 июня 2026 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 07 июля 2045 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 00a570e4f7ad388531b4b8818e75f29506
Владелец *Зубов Юрий Сергеевич*
Действителен с 04.07.2025 по 28.11.2026

Ю.С. Зубов

