

Х. Салех¹ ✉Н.П. Буряков¹Ю.И. Есавкин¹С.О. Шаповалов^{1, 2}Д.Е. Алешин¹М.Н. Долгая³¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия²Научно-испытательский центр

«Черкизово», Москва, Россия

³ООО «Группа компаний ВИК», Островцы, г.о. Раменский, Московская обл., Россия

✉ hatemsaleh193@gmail.com

Поступила в редакцию: 22.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Салех Х., Буряков Н.П., Есавкин Ю.И., Шаповалов С.О., Алешин Д.Е., Долгая М.Н.

Влияние добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в рацион нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани

РЕЗЮМЕ

Изучено влияние различного уровня и соотношения аминокислот с разветвленной цепью (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в комбикормах на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*). Эксперимент проведен на четырех группах рыб (одна контрольная и три опытных) в течение 229 суток. Контрольная группа получала основной рацион с содержанием сырого протеина 33,1%. В опытных группах уровень BCAA корректировали путем дополнительного ввода кристаллических аминокислот: группа 1 — изолейцин 30% от исходного содержания; группа 2 — изолейцин 20%, валин 20%, лейцин 40%; группа 3 — по 40% каждой из трех аминокислот. В группе 3 зафиксировано максимальное содержание сырого протеина (21,3% на натуральное вещество, 79,2% на абсолютно сухое вещество) и сырого жира (3,2% и 11,9% соответственно). Энергетическая ценность 100 г филе в группе 3 достигла 114,0 ккал, превысив контроль на 20,6%. Содержание суммы BCAA в белке мяса увеличилось до 72,3% против 52,0% в контроле, доля серосодержащих аминокислот выросла с 12,0% до 17,0%. Индексы биологической ценности белка в группе 3 составили: аминокислотный скор — 59,5 (контроль 40,7), индекс Осера — 99,27 (контроль 69,42), PDCAAS — 56,53% (контроль 38,63%), DIAAS — 54,7% (контроль 37,4%). Полученные данные свидетельствуют о том, что рацион с добавлением 40% изолейцина, валина и лейцина обеспечивает повышение энергетической ценности продукции и улучшение аминокислотного состава белка мяса тиляпии.

Ключевые слова: нильская тиляпия, кормление, BCAA, изолейцин, валин, лейцин, биологическая ценность белка, PDCAAS, DIAAS, аминокислотный скор, индекс Осера

Для цитирования: Салех Х., Буряков Н.П., Есавкин Ю.И., Шаповалов С.О., Алешин Д.Е., Долгая М.Н. Влияние добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в рацион нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 56–64.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-56-64>

Hatem Saleh¹ ✉Nikolay P. Buryakov¹Yuri I. Esavkin¹Sergei O. Shapovalov^{1, 2}Dmitrii E. Alekhin¹Marina N. Dolgaya³¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia²Research and Testing Center Cherkizovo, Moscow, Russia³«VIC Group of Companies» LLC, Ostrovtsy, Ramenskoye, Moscow region, Russia

✉ hatemsaleh193@gmail.com

Received by the editorial office: 22.02.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Saleh H., Buryakov N.P., Esavkin Yu.I., Shapovalov S.O., Alekhin D.E., Dolgaya M.N.

Effects of branched-chain amino acid (BCAA: L-isoleucine, L-valine, L-leucine) supplementation in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on chemical composition, energy value, and amino acid profile of muscle tissue

ABSTRACT

The effect of different levels and ratios of branched-chain amino acids (BCAA: L-isoleucine, L-valine, L-leucine) in compound feeds on the chemical composition, energy value, and amino acid profile of muscle tissue of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) was studied. The experiment was conducted on four groups of fish (control and three experimental) over a period of 229 days. The control group received a basal diet with a crude protein content of 33.1%. In the experimental groups, the BCAA levels were adjusted by additional supplementation of crystalline amino acids: group 1 — isoleucine 30% of the initial content; group 2 — isoleucine 20%, valine 20%, leucine 40%; group 3 — 40% of each of the three amino acids.

Group 3 showed the maximum crude protein content (21.3% on a natural matter basis, 79.2% on an absolute dry matter basis) and crude fat content (3.2% and 11.9%, respectively). The energy value of 100 g of fillet in group 3 reached 114.0 kcal, exceeding the control by 20.6%. The total BCAA content in meat protein increased to 72.3% compared to 52.0% in the control, while the proportion of sulfur-containing amino acids increased from 12.0% to 17.0%. The calculated indices of protein biological value in group 3 were as follows: amino acid score — 59.5 (control 40.7), Oser index — 99.27 (control 69.42), PDCAAS — 56.53% (control 38.63%), DIAAS — 54.7% (control 37.4%). The obtained data indicate that the diet supplemented with 40% isoleucine, valine, and leucine provides an increase in the energy value of the product and an improvement in the amino acid composition of tilapia meat protein.

Key words: Nile tilapia, feeding, BCAA, isoleucine, valine, leucine, protein biological value, PDCAAS, DIAAS, amino acid score, Oser index

For citation: Saleh H., Buryakov N.P., Esavkin Yu.I., Shapovalov S.O., Alekhin D.E., Dolgaya M.N. Effects of branched-chain amino acid (BCAA: L-isoleucine, L-valine, L-leucine) supplementation in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on chemical composition, energy value, and amino acid profile of muscle tissue. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 56–64 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-56-64>

Введение/Introduction

Современная аквакультура не ограничивается задачей простого наращивания биомассы. Ключевой вектор развития отрасли сместился в сторону управления качеством продукции через целенаправленное конструирование кормов, где обеспеченность рациона энергией, протеином и аминокислотами приобретает решающее значение, на что указывает ряд ведущих ихтиодиетологов^[1]. Особое место в этих исследованиях занимают незаменимые аминокислоты с разветвленными боковыми цепями (BCAA), которые, как доказано, не просто участвуют в синтезе белка, но выступают в роли сигнальных молекул, активируя ключевой путь mTOR, напрямую стимулирующий мышечный протеинсинтез и подавляющий катаболизм мышечной ткани [2–4]. Понимание точных потребностей рыб в BCAA позволяет создавать не просто сбалансированные, но и экономически обоснованные рационы, минимизируя избыточное введение дорогостоящих протеиновых компонентов.

Успех тилипии, которую многие исследователи образно называют «бройлерным цыпленком рыбководства», обусловлен сочетанием биологической неприхотливости, быстрых темпов роста и экономической эффективности [5, 6]. При этом белок мяса тилипии характеризуется сбалансированным аминокислотным составом, соответствующим потребностям человека, с высоким содержанием незаменимых аминокислот [1, 3]. Интегральным показателем, отражающим эффективность утилизации пищевого белка для синтеза собственных белков тела, служит биологическая ценность (табл. 1), однако традиционные оценки не учитывают тонких эффектов, связанных с дисбалансом отдельных BCAA.

Одной из фундаментальных задач современной нутрициологии, аквакультуры и пищевой индустрии является поиск и внедрение интегральных критериев биологической ценности мяса рыб. Такие критерии позволяют объективно сравнивать мясо различных видов гидробионтов между собой, а также с альтернативными источниками

белка животного происхождения [7–11]. Концепция «идеального белка» давно перестала быть теоретическим конструктом; она служит практическим инструментом оценки качества протеина. Эталон здесь выступает профиль, разработанный ФАО совместно с ВОЗ. Актуальная версия 2007 года («Белок и аминокислоты в питании человека»)³ базируется на многолетних научных данных, уточнявшихся в 1965, 1973 и 1985 годах, и именно ее рекомендуется использовать при создании сбалансированных рационов для человека и животных, включая рыб.

В этом контексте нильская тилипия (*Oreochromis niloticus*) занимает особое положение как один из доминирующих видов глобальной аквакультуры, стабильно демонстрирующий рост объемов производства [9–12]. Поэтому настоящая работа направлена на восполнение этого пробела. В отличие от большинства исследований, сосредоточенных исключительно на продукционных показателях, цель данной работы — комплексно оценить влияние различных уровней добавок изолейцина, валина и лейцина в комбикорма не только на рост и энергетическую ценность мышечной ткани, но и на углубленные критерии биологической ценности белка мяса нильской тилипии, включая аминокислотный скор, индекс Осера, PDCAAS, DIAAS и коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС) [13–17]. Такой подход позволяет не просто констатировать факт увеличения массы тела, а научно обосновать, как именно манипуляции с BCAA влияют на качество белка конечного продукта, что имеет прямое значение для пищевой промышленности и здорового питания.

Цель исследования — оценить влияние различных уровней и соотношения добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в комбикормах на химический состав, энергетическую ценность, аминокислотный профиль мышечной ткани нильской тилипии (*Oreochromis niloticus*), а также на интегральные показатели биологической ценности ее белка (аминокислотный скор, индексы Осера, PDCAAS, DIAAS, КРАС).

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент проводили в условиях аквариальной лаборатории с использованием прямоугольных стеклянных аквариумов объемом 200 литров каждый на базе РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева в 2024–2025 гг.

Объектом исследования служила тилипия (*Oreochromis niloticus*) со средней начальной массой тела 7,6 г. Плотность посадки на старте эксперимента составляла 320 экз./м³, продолжительность эксперимента — 229 суток.

Таблица 1. Стандарт ФАО/ВОЗ применительно к потребностям человека, мг/г белка²

Table 1. FAO/WHO standard applicable to human needs, mg/g protein²

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

¹ Mobsby D., Steven H.A., Curtotti R. Australian fisheries and aquaculture outlook 2020. <https://doi.org/10.25814/5e4377eb3eea2>

² Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. FAO Food Nutr Pap. 2013;92:1–66.

³ Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. World Health Organ Tech Rep Ser. 2007;(935):1–265.

В течение всего периода выращивания контролировали гидрохимические параметры водной среды: температура воды поддерживалась в диапазоне 27,8–28,0 °С, содержание растворенного кислорода составляло 5,6–5,9 мг/л, величина pH находилась в пределах 7,2–7,3, концентрация аммония не превышала 0,14–0,18 мг/л, нитритов — 0,38–0,43 мг/л, нитратов — 4,28–4,41 мг/л. Указанные значения соответствовали оптимальным условиям для выращивания тилапии и были идентичными для всех групп.

Кормление осуществляли вручную, контрольный рацион характеризовался следующими показателями: обменная энергия — 245 ккал/100 г корма, сырой протеин — 33,10%, сырой жир — 8,01%, сырая клетчатка — 4,84%, лизин — 1,95%, метионин — 0,61%, метионин + цистин — 1,04%, треонин — 1,27%, кальций — 1,77%, фосфор — 1,30%, натрий — 0,41%, суточную норму кормления определяли в зависимости от массы тела рыбы и температуры воды согласно общепринятой технологии выращивания⁴, как и в предыдущем эксперименте [18].

Все экспериментальные комбикорма изготавливали самостоятельно методом гранулирования на основе базовой рецептуры.

Три опытных рациона имели содержание белка, близкое к данному значению, с учетом погрешности измерения. Разница между рационами заключалась в добавлении незаменимых аминокислот с разветвленными боковыми цепями (BCAA) (табл. 2).

В группе 1 дополнительно вводили 30% изолейцина, в группе 2 — 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина, в группе 3 — 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина.

Фактическое содержание BCAA в кормах контрольной группы составило: изолейцин — 1,29%, валин — 1,51%, лейцин — 2,31% от массы корма. В первой группе содержание изолейцина повысили до 1,68% при неизменном уровне валина и лейцина. Во второй группе содержание изолейцина составило 1,55%, валина — 1,81%, лейцина — 3,23%. В третьей группе эти показатели достигли 1,81% для изолейцина, 2,11% — для валина и 3,23% — для лейцина (табл. 4).

Массовую долю сырого протеина в образцах кормов и мяса рыб определяли методом Кельдаля в соответствии с ГОСТ 13496.4-2019⁵. Для пересчета общего азота в массовую долю белка во всех исследуемых образцах применяли универсальный коэффициент 6,25. Отбор

Таблица 2. Содержание протеина и BCAA в опытных рационах

Table 2. Protein and BCAA content in experimental diets

	Массовая доля, %			
	Сырой протеин	изолейцин	валин	лейцин
Контроль	33,10	3,90/1,29	4,56/1,51	6,98/2,31
Группа 1	33,49	5,01/1,68	4,51/1,51	6,90/2,31
Группа 2	34,58	4,48/1,55	5,24/1,81	9,35/3,23
Группа 3	35,14	5,14/1,81	6,02/2,11	9,20/3,23

Примечание: содержание в белке / содержание в корме

Таблица 3. Соотношение разветвленных аминокислот в рационах рыб в опытных группах, %

Table 3. Ratio of branched-chain amino acids in fish diets in experimental groups, %

	Изолейцин	Валин	Лейцин
Контроль	0	0	0
Группа 1	30	0	0
Группа 2	20	20	40
Группа 3	40	40	40

проб мышечной ткани рыб проводили согласно ГОСТ Р 50380⁶, химический состав, кроме указанного сырого протеина, проводили согласно ГОСТ 31795⁷.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования осуществлялись в соответствии с требованиями инструкций и рекомендаций к выполнению биологических исследований.

При проведении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания рыб и уменьшение количества исследованных опытных образцов.⁸

Аминокислотный состав образцов корма и мяса рыб устанавливали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на хроматографе фирмы «Shimadzu» (Япония) в соответствии с ГОСТ 32195⁹ на базе НИЦ «Черкизово» (Москва, Россия).

Для комплексной оценки биологической ценности белка мяса тилапии рассчитывались следующие индексы:

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)¹⁰:

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

AK_{ИБ} — это количество аминокислоты в 1 грамме исследуемого белка.

⁴ Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Индустриальное рыбководство. 2-е изд. СПб.: Лань. 2013; 416.

ISBN 978-5-8114-1367-6

<https://www.elibrary.ru/ugrmcr>.

⁵ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина

⁶ ГОСТ Р 50380-2005 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Термины и определения

⁷ ГОСТ 31795-2012 Рыба, морепродукты и продукция из них. Метод определения массовой доли белка, жира, воды, фосфора, кальция и зольности спектрометрическим методом в ближней инфракрасной области

⁸ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.

https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063-rus.pdf

⁹ ГОСТ 32195-2013 Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот

¹⁰ Chemical Score — CS, Х. Митчелл и Р. Блока (Mitchell, Block), 1946

$AK_{эб}$ — это количество той же аминокислоты в 1 грамме идеального (эталонного) белка.

Индекс незаменимых аминокислот (EAAI — 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 скор (Oser, 1951¹¹) и обладает преимуществом, заключающимся в учете баланса всех незаменимых аминокислот.

Расчетная формула индекса имеет следующий вид:

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

где э — содержание аминокислоты в эталонном белке.

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

ИНАК стремится к 0 при дефиците одной аминокислоты, это означает, что в нем полностью отсутствует хотя бы одна незаменимая аминокислота (лимитирующая аминокислота).

$0 < ИНАК < 1$: Хороший, но не идеальный белок. Значение ИНАК численно равно содержанию самой дефицитной аминокислоты (лимитирующей), то есть $ИНАК = C_{min}$ [23–25].

Индекс PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score)

Улучшенный показатель, который учитывает не только состав, но и переваримость белка в организме человека. Долгое время был золотым стандартом ФАО/ВОЗ

$$PDCAAS, \% = \frac{мг\ лимитирующей\ АК\ в\ 1\ г\ тестируемого\ белка}{мг\ той\ же\ АК\ в\ 1\ г\ идеального\ белка} \times 0,95$$

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. Истинная усвояемость белка, измеренная в эксперименте на крысах. Итоговый результат умножается на 100, чтобы получить процентное значение. Качество белка по PDCAAS определяется с учетом его усвояемости и уровня самой дефицитной аминокислоты.

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 переваримости [16, 18].

$$DIAAS = \text{Аминокислотный скор (лимитирующей АК)} \times \text{кишечную переваримость аминокислоты белка (\%)}$$

где кишечную переваримость аминокислот (%) указывают на уровне 95–98% (измеренная в эксперименте на крысах).

Индекс Карпацци–Линдера–Варга. Его принцип основан на сравнении аминокислотного состава исследуемого белка со стандартом, в роли которого выступает белок куриного яйца. Формула для расчета по 10 незаменимым аминокислотам имеет следующий вид:

$$БЦ = 75 \times \sqrt[10]{\left(\frac{a_{x1}}{a_{y1}} \frac{a_{x2}}{a_{y2}} \dots \frac{a_{xn}}{a_{yn}}\right) \left(\frac{b_{y1}}{b_{x1}} \frac{b_{y2}}{b_{x2}} \dots \frac{b_{yn}}{b_{xn}}\right)} + 25$$

где n — число незаменимых аминокислот;

a_{x1} — содержание незаменимых аминокислот в исследуемом белке, количество которого меньше, чем в эталонном белке яйца, %;

a_{y1} — содержание этих же аминокислот в эталонном белке яйца, %;

b_{y1} — 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_y — сумма незаменимых аминокислот в белке яйца, %.

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

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

Неполноценный белок ($C_m = 0$): КРАС перестает 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

¹¹ Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organ Tech Rep Ser. 1985;724:1–206.

любому другому, у которого нет избыточных аминокислот. Таким образом, он не чувствителен к различию между истинным идеалом и просто сбалансированным белком без перекосов [31]. Данный индекс чаще применяют в отечественной пищевой индустрии. Для расчета PDCAAS и DIAAS использовали стандартные коэффициенты истинной усвояемости белка (95%), рекомендованные ФАО/ВОЗ для белков животного происхождения.

Прямое перенесение этих коэффициентов с человека на рыбу является упрощением; уточнение переваримости аминокислот для нильской тилляпии требует отдельных экспериментов *in vivo* и не входило в задачи исследования, что является ограничением для данного исследования.

Статистическую обработку проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). При обнаружении значимых различий ($p < 0,05$) применяли *post-hoc* тест Тьюки (Tukey HSD). Данные представлены как среднее $\pm$ стандартная ошибка среднего (SEM).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты химического анализа мышечной ткани нильской тилляпии (табл. 4) свидетельствуют о статистически значимом ($p < 0,05$) влиянии уровня и соотношения ВСАА в рационе на содержание основных нутриентов.

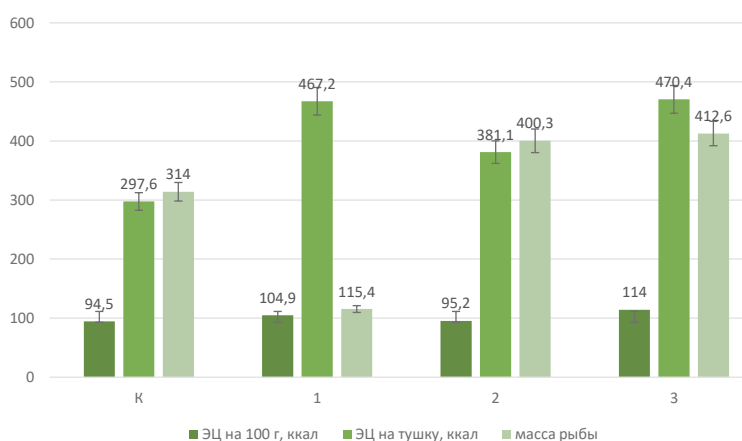
Наибольшая концентрация липидов в мышечной ткани установлена в группе 3: 3,2% в натуральном веществе и 11,9% в пересчете на абсолютно сухое вещество (АСВ), что превышает значения в контроле (1,7% и 5,7% соответственно) в 1,9 и 2,1 раза ($p < 0,05$). В группе 1 содержание сырого жира также было достоверно выше контроля (2,1% на НВ, $p < 0,05$), тогда как в группе 2 данный показатель не имел статистически значимых отличий от контроля (1,6% на НВ, $p > 0,05$). В наших исследованиях максимальная концентрация протеина отмечена в группе 3: 21,3% на НВ и 79,2% на АСВ. Прирост относительно контроля составил 7,6% и 19,6% соответственно ($p < 0,05$). В группах 1 и 2 содержание протеина на АСВ было сопоставимо (72,1–72,4%) и достоверно превышало контроль, однако уступало группе 3. Межгрупповые различия по данному показателю были незначительными и не превышали 0,2% в абсолютном выражении. Статистически достоверное различие зафиксировано между группами 1 и 3, однако биологическая значимость этого эффекта невысока. Применение рациона с добавлением 40% изолейцина, валина и лейцина (группа 3) обеспечило наиболее выраженное улучшение

Таблица 4. Химический состав мяса тилляпии, %
Table 4. Chemical composition of tilapia meat, %

Показатель	Группа			
	К	1	2	3
М.д. влаги (НВ)	70,1 $\pm$ 0,3 ^{а, г}	70,2 $\pm$ 0,4 ^{а, г}	72,1 $\pm$ 0,2 ^{а, б}	73,1 $\pm$ 0,3 ^{а, б, в}
М.д. сухого вещества	29,9 $\pm$ 0,4	29,8 $\pm$ 0,4	27,9 $\pm$ 0,4	26,9 $\pm$ 0,3
М.д. сырого протеина (N ₂ *6,25) в НВ	19,8 $\pm$ 0,5 ^{б, г}	21,5 $\pm$ 0,4 ^{а, в}	20,2 $\pm$ 0,5 ^б	21,3 $\pm$ 0,3 ^а
М.д. сырого жира на НВ	1,7 $\pm$ 0,1 ^{б, г}	2,1 $\pm$ 0,09 ^{а, в, г}	1,6 $\pm$ 0,06 ^{б, г}	3,2 $\pm$ 0,1 ^{а, б, в}
М.д. сырой золы на НВ	1,5 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,03 ^г	1,4 $\pm$ 0,04	1,5 $\pm$ 0,1 ^б

Примечание тут и далее: статистически достоверная разница ($p < 0,05$). Достоверности указаны при сравнении: а — с группой контроль; б — с группой 1; в — с группой 2; г — с группой 3.

Рис. 1. Энергетическая ценность мяса нильской тилляпии
Fig. 1. Energy value of Nile tilapia meat



химического состава мышечной ткани, выразившееся в синхронном повышении концентрации сырого протеина и сырого жира [19–22]. Полученные данные свидетельствуют о том, что сбалансированное введение всех трех ВСАА в указанной дозировке оказывает более эффективное воздействие на нутритивный профиль мяса тилляпии по сравнению с рационами, содержащими отдельные ВСАА (группа 1) или их комбинацию в ином соотношении (группа 2).

Результаты оценки продукционных показателей и энергетической ценности мышечной ткани нильской тилляпии представлены на рис. 1.

В эксперименте наибольший конечный вес отмечен в группе 1 (445,4 г), что на 41,5% превышает контрольный показатель (314,9 г). Группа 3 (412,6 г) и группа 2 (400,3 г) также достоверно превосходили контроль — на 31,0% и 27,1% соответственно ($p < 0,05$). Максимальный прирост массы, таким образом, зафиксирован при добавлении только изолейцина (группа 1), тогда как комбинированное введение ВСАА (группы 2 и 3) дало сопоставимые, но несколько более низкие результаты. После чего рассчитали энергетическую ценность мяса рыбы, установлено, что минимальное значение отмечено в контрольной группе — 94,5 ккал. Наибольшую энергетическую плотность продемонстрировала группа 3 — 114,0 ккал, что на 20,6% выше контроля ($p < 0,05$). Группа 1 также показала достоверное превышение контроля — 104,9 ккал

(+11,0%, $p < 0,05$). В группе 2 значение составило 95,2 ккал, что не имело статистически значимых отличий от контроля ($p > 0,05$). При пересчете на тушку получены несколько иные данные, так наибольшие значения зафиксированы в группе 3 (470,4 ккал) и группе 1 (467,2 ккал) — превышение контроля составило 58,1% и 57,0% соответственно. Группа 2 показала прирост 28,1% относительно контроля (381,1 ккал).

Обращает на себя внимание разнонаправленный характер эффектов: максимальная живая масса достигнута в группе 1 (только изолейцин), тогда как максимальная энергетическая плотность мяса — в группе 3 (полный комплекс ВСАА). При расчете на всю тушку группы 1 и 3 демонстрируют сопоставимые результаты, что свидетельствует о наличии двух стратегически различных путей повышения энергетической ценности продукции: за счет наращивания биомассы (группа 1) либо за счет улучшения качественного состава мяса в группе 3, что соответствует данным литературы [23,24].

Результаты аминокислотного анализа (табл. 5) свидетельствуют о статистически значимом ($p < 0,05$) влиянии состава рациона на содержание большинства незаменимых аминокислот в мышечной ткани. Исключение составил триптофан, по которому достоверных межгрупповых различий не выявлено.

Наибольшее содержание всех незаменимых аминокислот независимо от способа пересчета (натуральное вещество — НВ, абсолютно сухое вещество — АСВ, сырой протеин — СП) зафиксировано в группе 3, получавшей рацион с добавлением 40% изолейцина, валина и лейцина (рис. 3).

Аналогичная тенденция к повышению отмечена для треонина, фенилаланина, аргинина и гистидина. Содержание триптофана в группе 3 также было максимальным (0,82% на АСВ), однако различия с другими группами статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Группы 1 и 2 также показали превышение контроля по большинству аминокислот, однако уступали группе 3. При этом группа 2 по ряду показателей (валин, лейцин, изолейцин) демонстрировала значения, близкие к группе 1.

Полученные данные свидетельствуют о том, что сбалансированное введение всех трех ВСАА в дозировке 40% (группа 3) обеспечивает не только количественный рост протеина в мышечной ткани, но и существенное улучшение его качественного

Рис. 2. Ключевые изменения в группе 3 относительно контроля (К), $p > 0,05$

Fig. 2. Key changes in group 3 relative to control (K) $p > 0,05$

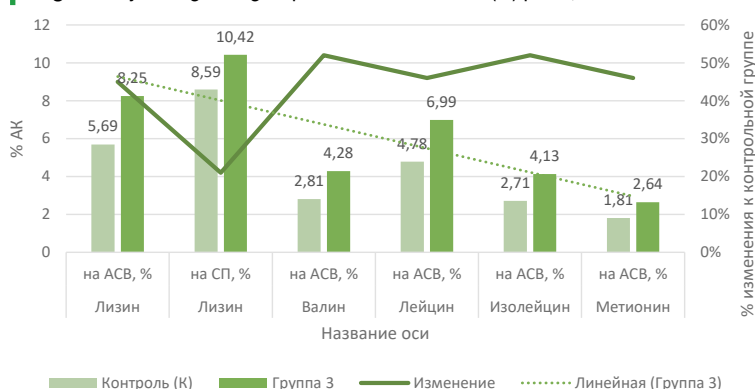


Рис. 3. Незаменимые (1) и заменимые (2) аминокислоты, % на АСВ

Fig. 3. Essential (1) and replaceable (2) amino acids, % of ADM

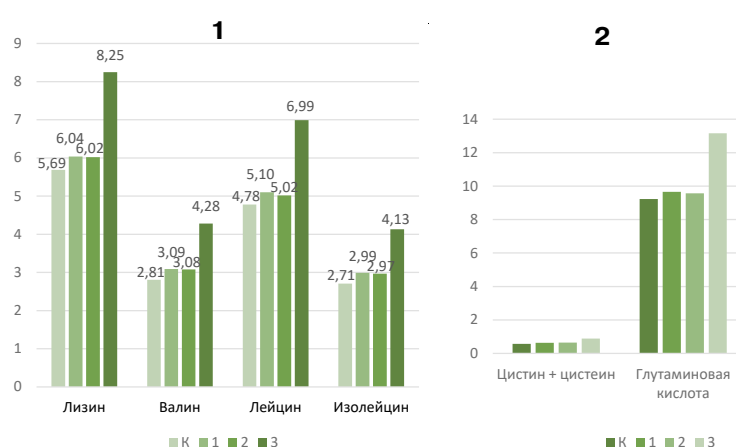


Таблица 5. Оценка биологической ценности белка мяса тилапии с использованием различных расчетных подходов на основе эталона ФАО/ВОЗ

Table 5. Estimation of the biological value of tilapia meat protein using different calculation approaches based on the FAO/WHO standard

Показатель	Группа			
	К	1	2	3
Отношение заменимых аминокислот к незаменимым	0,98	0,97	0,96	0,95
Доля серосодержащих аминокислот, %	12,02	12,05	12,62	17,00
Доля ВСАА (изолейцин + лейцин + валин), %	52,02	52,00	54,80	72,30
Аминокислотный скор (лимитирующая аминокислота)	40,7	43,0	42,3	59,5
Индекс Осера (EAAI)	69,42	74,47	72,66	99,27
PDCAAS, %	38,63	40,85	40,22	56,53
DIAAS, %	37,40	39,60	38,90	54,70
Показатель Карпаци–Линдера–Варги	86,46	88,82	88,17	99,03
Коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС)	0,38	0,40	0,40	0,57

состава — повышение концентрации практически всех незаменимых аминокислот. Наименьший эффект отмечен для триптофана, что может быть связано с особенностями его метаболизма или ограничениями метода анализа [24, 25].

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 [26–29].

В таблице 5 представлены результаты расчета ряда показателей, характеризующих биологическую

ценность белка мышечной ткани нильской тиляпии в зависимости от варианта кормления.

Все представленные индексы (скор, EAAl, PDCAAS, DIAAS, КРАС) рассчитаны по химическому составу белка, а не по его истинной усвояемости в организме рыбы. Для PDCAAS и DIAAS использовали стандартные коэффициенты переваримости (95–98%), принятые для белков животного происхождения в питании человека. КРАС характеризует средний избыток незаменимых аминокислот относительно эталонного профиля. Чем ниже КРАС, тем ближе профиль к эталону (меньше избыточных аминокислот). В данном исследовании КРАС в группе 3 составил 0,57 ед. против 0,38–0,40 в контроле и группах 1–2. Это может означать увеличение избытка аминокислот, а не улучшение сбалансированности. Однако данный избыток сформирован преимущественно за счет ВСАА, которые являются целевыми нутриентами в проведенном эксперименте. Поэтому рост КРАС интерпретируется не как ухудшение баланса, а как закономерный результат целенаправленного обогащения рациона [5, 13, 16, 28].

Наиболее надежными из представленных индексов для оценки качества белка являются PDCAAS и DIAAS (рекомендации ФАО/ВОЗ, 2013). Согласно этим расчетным показателям, группа 3 превосходит контроль на 46% и 46% соответственно. Аминокислотный скор (лимитирующая аминокислота — сумма фенилаланина и тирозина) также выше в группе 3 (59,5 против 40,7 в контроле). С учетом сделанных оговорок можно заключить, что рацион группы 3 (добавление 40% изолейцина, валина и лейцина) ассоциируется с наиболее высокими значениями интегральных индексов биологической ценности белка. Однако окончательное суждение о качестве белка требует прямых измерений переваримости аминокислот в организме тиляпии, что выходит за рамки данного исследования и может рассматриваться как перспективное направление дальнейшей работы.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Furuya W.M., Cruz T.P.d., Gatlin D.M. III. Amino Acid Requirements for Nile Tilapia: *An Update Animals*. 2023; 13(5): 900. <https://doi.org/10.3390/ani13050900>
2. Kandyliari A. *et al.* Nutrient Composition and Fatty Acid and Protein Profiles of Selected Fish By-Products. *Foods*. 2020; 9(2): 190. <https://doi.org/10.3390/foods9020190>
3. Xu C. *et al.* Effects of dietary leucine and valine levels on growth performance, glycolipid metabolism and immune response in Tilapia GIFT *Oreochromis niloticus*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 121: 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.01.028>

Выводы/Conclusions

При изучении влияния добавления аминокислот в рацион нильской тиляпии установлено, что наибольшая конечная живая масса достигнута в группе 1, составила 445,4 г, + 41,5% к контролю, ($p < 0,05$). Группы 2 и 3 также достоверно превосходили контроль на 27,1% и 31,0% соответственно. Наибольшая конечная масса тела достигнута в группе 1, тогда как добавление всех трех ВСАА в группу 3 (40% изолейцина + 40% лейцина + 40% валина) привело к менее выраженному ростовому эффекту, вероятно, вследствие антагонизма ВСАА, связанного с конкурентным ингибированием транспорта и метаболизма изолейцина избытком лейцина.

Показано, что максимальное содержание сырого протеина (21,3% на НВ, 79,2% на АСВ) и сырого жира (3,2% на НВ, 11,9% на АСВ) зафиксировано в группе 3, что превышает контроль в 1,9 и 2,1 раза соответственно ($p < 0,05$). Энергетическая ценность 100 г филе в группе 3 составила 114,0 ккал. При пересчете на всю тушку группы 1 и 3 показали сопоставимые результаты в 467,2 и 470,4 ккал соответственно, что указывает на два различных пути повышения энергетической ценности продукции: за счет наращивания биомассы (группа 1) либо за счет улучшения качественного состава мяса (группа 3).

Отмечено наибольшее содержание всех незаменимых аминокислот, за исключением триптофана, в 3-й группе. Так, доля ВСАА в белке мяса увеличилась до 72,3% против 52,0% в контроле, доля серосодержащих аминокислот — до 17,0% против 12,0%.

Обогащение рациона рыб в количестве 40% изолейцина, валина и лейцина (группа 3) ассоциируется с некоторым улучшением химического состава, энергетической ценности и аминокислотного профиля мышечной ткани нильской тиляпии. Для практической аквакультуры группа 1 (30% изолейцина) представляет интерес с точки зрения максимального наращивания биомассы, тогда как группа 3 — с точки зрения получения продукции с повышенной энергетической плотностью и улучшенным аминокислотным составом белка.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The research was carried out using funds from the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program «Priority 2030».

REFERENCES

1. Furuya W.M., Cruz T.P.d., Gatlin D.M. III. Amino Acid Requirements for Nile Tilapia: *An Update Animals*. 2023; 13(5): 900. <https://doi.org/10.3390/ani13050900>
2. Kandyliari A. *et al.* Nutrient Composition and Fatty Acid and Protein Profiles of Selected Fish By-Products. *Foods*. 2020; 9(2): 190. <https://doi.org/10.3390/foods9020190>
3. Xu C. *et al.* Effects of dietary leucine and valine levels on growth performance, glycolipid metabolism and immune response in Tilapia GIFT *Oreochromis niloticus*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 121: 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.01.028>

4. Peres H. *et al.* Growth performance and metabolic responses of Nile tilapia fed diets with different protein to energy ratios. *Aquaculture*. 2021; 547: 737493. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737493>
5. Araújo F.E. *et al.* 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. *Aquaculture*. 2021; 539: 736645. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736645>
6. El-Sayed A.-F.M. *et al.* Dietary organic acid blend modulates hemato-immunological parameters, digestive and reproductive performances in red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) broodstock. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2025; 51(1): 41. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01459-1>
7. Prabu E., Rajagopalsamy C.B.T., Ahilan B., Jeevagan I.J.M.A., Renuhadevi M. Tilapia — An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. *Annual Research & Review in Biology*. 2019; 31(3): 1-14. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v31i330052>
8. Pereira W.A. *et al.* Navigating post-pandemic tilapia farming: a systematic review and meta-analysis of probiotic as a strategy for sustainable production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2025; 35(1): 95–116. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09917-4>
9. Пищенко Е.В., Моружи И.В. Мировые тенденции и перспективы выращивания карпа. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2022; (3): 164–177. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2203-01>
10. Cai J. Tilapia as an aquaculture species. Thompson K., Shoemaker C.A., Little D.C. (eds.). *Tilapia: Aquaculture, Biology and Health Management*. CABI. 2025; 26–60. <https://doi.org/10.1079/9781800629455.0002>
11. El-Sayed A.-F.M., Fitzsimmons K. From Africa to the world—The journey of Nile tilapia. *Reviews in Aquaculture*. 2023; 15(S1): 6–21. <https://doi.org/10.1111/raq.12738>
12. Desai A.S., Singh R.K. The effects of water temperature and ration size on growth and body composition of fry of common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of Thermal Biology*. 2009; 34(6): 276–280. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.03.005>
13. Schaafsma G. The protein digestibility-corrected amino acid score. *Journal of Nutrition*. 2000; 130(7): 1865S–1867S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1865S>
14. Millward D.J., Layman D.K., Tomé D., Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2008; 87(5): 1576S–1581S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1576S>
15. Yi Lm, Lakemond C.M.M., Sagis L.M.C., Eisner-Schadler V., van Huis A., van Boekel M.A.J.S. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*. 2013; 141(4): 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>
16. Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)—A Concept for Describing Protein Quality in Foods and Food Ingredients: A Critical Review. *Journal of AOAC International*. 2005; 88(3): 988–994. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.3.988>
17. Moughan P.J., Lim W.X.J. Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. *Frontiers in Nutrition*. 2024; 11: 1389719. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719>
18. Салех Х., Хамви М.Н. Влияние разных уровней L-изолейцина в комбикормах на рост тилапии (*Oreochromis niloticus*). *Аграрная наука*. 2024; (9): 54–59 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-54-59>
19. Gilani G.S. Background on international activities on protein quality assessment of foods. *British Journal of Nutrition*. 2012; 108(S2): S168–S182. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002383>
20. Sarwar G., McDonough F.E. Evaluation of protein digestibility-corrected amino acid score method for assessing protein quality of foods. *Journal — Association of Official Analytical Chemists*. 1990; 73(3): 347–356.
21. Ciuris C., Lynch H.M., Wharton C., Johnston C.S. A Comparison of Dietary Protein Digestibility, Based on DIAAS Scoring, in Vegetarian and Non-Vegetarian Athletes. *Nutrients*. 2019; 11(12): 3016. <https://doi.org/10.3390/nu11123016>
22. Колмаков В.И., Колмакова А.А. Аминокислоты в перспективных кормах для аквакультуры рыб: обзор экспериментальных данных. *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2020; 13(4): 424–442. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0332>
4. Peres H. *et al.* Growth performance and metabolic responses of Nile tilapia fed diets with different protein to energy ratios. *Aquaculture*. 2021; 547: 737493. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737493>
5. Araújo F.E. *et al.* 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. *Aquaculture*. 2021; 539: 736645. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736645>
6. El-Sayed A.-F.M. *et al.* Dietary organic acid blend modulates hemato-immunological parameters, digestive and reproductive performances in red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) broodstock. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2025; 51(1): 41. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01459-1>
7. Prabu E., Rajagopalsamy C.B.T., Ahilan B., Jeevagan I.J.M.A., Renuhadevi M. Tilapia — An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. *Annual Research & Review in Biology*. 2019; 31(3): 1-14. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v31i330052>
8. Pereira W.A. *et al.* Navigating post-pandemic tilapia farming: a systematic review and meta-analysis of probiotic as a strategy for sustainable production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2025; 35(1): 95–116. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09917-4>
9. Pishchenko E.V., Moruzi I.V. Global trends and prospects of carp cultivation. *Fish Breeding and Fisheries*. 2022; (3): 164–177 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-09-2203-01>
10. Cai J. Tilapia as an aquaculture species. Thompson K., Shoemaker C.A., Little D.C. (eds.). *Tilapia: Aquaculture, Biology and Health Management*. CABI. 2025; 26–60. <https://doi.org/10.1079/9781800629455.0002>
11. El-Sayed A.-F.M., Fitzsimmons K. From Africa to the world—The journey of Nile tilapia. *Reviews in Aquaculture*. 2023; 15(S1): 6–21. <https://doi.org/10.1111/raq.12738>
12. Desai A.S., Singh R.K. The effects of water temperature and ration size on growth and body composition of fry of common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of Thermal Biology*. 2009; 34(6): 276–280. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.03.005>
13. Schaafsma G. The protein digestibility-corrected amino acid score. *Journal of Nutrition*. 2000; 130(7): 1865S–1867S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1865S>
14. Millward D.J., Layman D.K., Tomé D., Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2008; 87(5): 1576S–1581S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1576S>
15. Yi Lm, Lakemond C.M.M., Sagis L.M.C., Eisner-Schadler V., van Huis A., van Boekel M.A.J.S. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*. 2013; 141(4): 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>
16. Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)—A Concept for Describing Protein Quality in Foods and Food Ingredients: A Critical Review. *Journal of AOAC International*. 2005; 88(3): 988–994. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.3.988>
17. Moughan P.J., Lim W.X.J. Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. *Frontiers in Nutrition*. 2024; 11: 1389719. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719>
18. Saleh H., Hamwi M.N. The effect of different levels of L-isoleucine in compound feeds on the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Agrarian science*. 2024; (9): 54–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-54-59>
19. Gilani G.S. Background on international activities on protein quality assessment of foods. *The British Journal of Nutrition*. 2012; 108(S2): S168–S182. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002383>
20. Sarwar G., McDonough F.E. Evaluation of protein digestibility-corrected amino acid score method for assessing protein quality of foods. *Journal — Association of Official Analytical Chemists*. 1990; 73(3): 347–356.
21. Ciuris C., Lynch H.M., Wharton C., Johnston C.S. A Comparison of Dietary Protein Digestibility, Based on DIAAS Scoring, in Vegetarian and Non-Vegetarian Athletes. *Nutrients*. 2019; 11(12): 3016. <https://doi.org/10.3390/nu11123016>
22. Kolmakov V.I., Kolmakova A.A. Amino acids in prospective feeds for fish aquaculture: a review of experimental data. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2020; 13(4): 424–442 (in Russian). <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0332>

23. Savitikadi P., Pullakhandam R., Kulkarni B., Kumar B.N., Reddy G.B., Reddy V.S. Chronic Effects of Maternal Low-Protein and Low-Quality Protein Diets on Body Composition, Glucose-Homeostasis and Metabolic Factors, Followed by Reversible Changes upon Rehabilitation in Adult Rat Offspring. *Nutrients*. 2021; 13(11): 4129. <https://doi.org/10.3390/nu13114129>
24. Шаповалов С.О., Корнилова Е.В., Шкаленко В.В., Японцев А.Э. Результаты сравнительных исследований экструдированных кормов для форели. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022; (1): 122–127. EDN LQMZWZ
25. Буряков Н.П. и др. Применение инфракрасной спектроскопии ближнего спектра для идентификации и количественного определения аминокислот в их кристаллической и солевой формах при приготовлении кормов для животных. *Аграрная наука*. 2023; (12): 90–94 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-90-94>
26. Osman A.G.M, Farrag M.M.S., Badrey A.E.A., Khedr Z.M.A., Kloas W. Water quality and health status of the monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system (ASTAF-PRO). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 2021; 25(2): 785–802.
27. Abdel-Warith A.-W., Al-Asgah N., El-Sayed Y., El-Otaby A., Mahboob S. The effect of replacement of fish meal with Amino Acids and Optimized Protein Levels in the diet of the Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Revista Brasileira de Biologia*. 2019; 79(4): 703–711. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.189413>
28. Lemos C.H.d.P. et al. Responses to graded levels of zinc amino acid complex in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Research Communications*. 2024; 48(2): 1025–1036. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10278-9>
29. Gaye-Siessegger J., Focken U., Abel H., Becker K. Influence of dietary non-essential amino acid profile on growth performance and amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2007; 146(1): 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.09.025>
23. Savitikadi P., Pullakhandam R., Kulkarni B., Kumar B.N., Reddy G.B., Reddy V.S. Chronic Effects of Maternal Low-Protein and Low-Quality Protein Diets on Body Composition, Glucose-Homeostasis and Metabolic Factors, Followed by Reversible Changes upon Rehabilitation in Adult Rat Offspring. *Nutrients*. 2021; 13(11): 4129. <https://doi.org/10.3390/nu13114129>
24. Shapovalov S.O., Kornilova E.V., Shkalenko V.V., Yaponsev A.E. Results of comparative studies of extruded trout feeds. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2022; (1): 122–127 (in Russian). EDN LQMZWZ
25. Buryakov N.P. et al. Application of near infrared spectroscopy for identification and quantitative determination of amino acids in their crystalline and salt forms in the preparation of animal feed. *Agrarian science*. 2023; (12): 90–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-90-94>
26. Osman A.G.M, Farrag M.M.S., Badrey A.E.A., Khedr Z.M.A., Kloas W. Water quality and health status of the monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system (ASTAF-PRO). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 2021; 25(2): 785–802.
27. Abdel-Warith A.-W., Al-Asgah N., El-Sayed Y., El-Otaby A., Mahboob S. The effect of replacement of fish meal with Amino Acids and Optimized Protein Levels in the diet of the Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Brazilian Journal of Biology*. 2019; 79(4): 703–711. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.189413>
28. Lemos C.H.d.P. et al. Responses to graded levels of zinc amino acid complex in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Research Communications*. 2024; 48(2): 1025–1036. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10278-9>
29. Gaye-Siessegger J., Focken U., Abel H., Becker K. Influence of dietary non-essential amino acid profile on growth performance and amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2007; 146(1): 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.09.025>

ОБ АВТОРАХ

Салех Хатем¹

аспирант

hatemsaleh193@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1930-808X>Николай Петрович Буряков¹

доктор биологических наук, профессор

n.buryakov@rgau-msha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6776-0835>Юрий Иванович Есавкин¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Uiesavkin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4490-6416>Сергей Олегович Шаповалов^{1,2}• доктор биологических наук, профессор¹;• директор²

s.shapovalov@cherkizovo.com

<https://orcid.org/0000-0002-5630-5247>Дмитрий Евгеньевич Алешин¹

кандидат биологических наук

d.aleshin@rgau-msha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4119-1451>Марина Николаевна Долгая³

кандидат биологических наук, научный редактор

dolgaya@vicgroup.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3123-6641>

¹ Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 54, Москва, 127434, Россия

² ООО «Научно-испытательный центр НИЦ «Черкизово», Дорожная ул., 14, дер. Яковлевское, Москва, 143340, Россия

³ ООО «ГК ВИК», дер. Островцы, квартал 30137, стр. 681, г.о. Раменский, Московская обл., 140125, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Saleh Hatem¹

Graduate Student

hatemsaleh193@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1930-808X>Nilolay Petrovich Buryakov¹

Doctor of Biological Sciences, Professor

n.buryakov@rgau-msha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6776-0835>Esavkin Yuri Ivanovich¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Uiesavkin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4490-6416>Sergei Olegovich Shapovalov^{1,2}• Doctor of Biological Sciences, Professor¹;• direktor²

s.shapovalov@cherkizovo.com

<https://orcid.org/0000-0002-5630-5247>Dmitrii Evgenievich Aleshin¹

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

d.aleshin@rgau-msha.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4119-1451>Marina Nikolaevna Dolgaya³

Candidate of Biological Sciences, Scientific Editor

dolgaya@vicgroup.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3123-6641>

¹ Russian State Agrarian University — K.A. Timiryazev Agricultural Academy, 54 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia

² LLC SIC «Cherkizovo», 14 Dorozhnaya st., Yakovlevskoye village, Moscow, 143340, Russia

³ «VIC Group of Companies» LLC, 30137 block, 681 building, Ostrovtsy village, Ramenskoye City District, Moscow region, 140125, Russia