

Научная статья

УДК 639.2

DOI 10.46845/1997-3071-2023-71-11-23

**Оценка эффективности кормления радужной форели
(*Oncorhynchus mykiss*) диетой на основе личинки черной львинки**

Светлана Владимировна Матросова¹, Светлана Николаевна Лябзина², Вячеслав Васильевич Горбач³, Юлия Николаевна Ильмаст⁴

^{1,2,3,4} Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

¹ matrosovasv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0093-704X>

² slyabzina@petsu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3386-5724>

³ <https://orcid.org/0000-0003-2326-8539>

Аннотация. Традиционными источниками белка в кормах для аквакультуры являются рыбная мука и соя, но доступность этих компонентов становится ограниченной из-за постепенного истощения запасов Мирового океана. С этой точки зрения насекомые могут быть ценным источником протеина как альтернативный белок для аквакультуры. В России личинок тропической мухи *Hermetia illucens* L. чаще используют для получения биогазуса после переработки пищевых отходов, но в последние годы становится популярным направление культивирования личинок для изготовления рыбных комбикормов. В связи с этим, настоящее исследование было направлено на оценку влияния замены части рыбной муки личинками черной львинки в рационе годовиков радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). По результатам изучения показателей эффективности роста радужной форели, выращенной на производственных кормах с добавлением личинок черной львинки в виде подготовленного кормового субстрата из замороженных насекомых и пшеничного глютена через экструдер, описано влияние экспериментальной диеты с положительным рыбоводно-биологическим эффектом. Специально для проведения эксперимента было разработано два рецепта комбикормов (для опытной и контрольной групп), в одном из которых часть рыбной муки заменили на личинку *H. illucens*. Эксперимент проводился на генетически однородных группах рыб в условиях содержания в системе замкнутого водоснабжения в течение 77 суток. Для индивидуального контроля биометрических и морфологических параметров каждой рыбе был введен микрочип в область спинного плавника. Оценка показателей абсолютного и относительного приростов в контрольной и опытной группах рыб позволила выявить, что наличие личинки в составе кормов способствовало наибольшей активности ростовых процессов у форели. Величина относительного прироста массы рыб в опытной группе выше на 13 %, чем в контрольной. Различия между средними арифметическими становятся очевидными на 50-е сутки с начала эксперимента и достигают максимума к его окончанию.

© Матросова С. В., Лябзина С. Н., Горбач В. В., Ильмаст Ю. Н., 2023

Ключевые слова: аквакультура, черная львинка, радужная форель, корма для рыб, хитин.

Финансирование: Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих ученую степень, финансируемой Правительством Республики Карелия.

Для цитирования: Матросова С. В., Лябзина С. Н., Горбач В. В., Ильмаст Ю. Н. Оценка эффективности кормления радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) диетой на основе личинки черной львинки // Известия КГТУ. 2023. № 71. С. 11-23. DOI 10.46845/1997-3071-2023-71-11-23

Original article

Evaluation of the feeding efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with a diet based on black soldier fly larvae

Svetlana V. Matrosova¹, Svetlana N. Lyabzina², Vyacheslav V. Gorbach³, Yulia N. Il'mast⁴

^{1,2,3,4} Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

¹ matrosovasv@yandex.ru

² slyabzina@petrsu.ru

Abstract. Traditional sources of protein in aquaculture feeds are fishmeal and soy, but availability of these components is becoming limited due to the gradual depletion of the World's oceans. From this point of view, insects can be a valuable source of protein as an alternative protein for aquaculture. In Russia, larvae of the tropical fly *Hermetia illucens* L. are more often used to obtain vermicompost after food waste conversion, however recently the cultivation of larvae for the production of fish feed has become more popular. Therefore, the investigation aimed to evaluate the replacement of fishmeal with the larvae in the diet of yearling rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Based on the results of a study investigating the growth efficiency of rainbow trout raised on a commercial feed supplemented with black soldier fly larvae, it was observed that an experimental diet containing frozen insects and wheat gluten processed using an extruder had a positive impact on fish farming and biological effects. Especially for the experiment, two feed recipes have been developed (for the experimental and control groups), in one of which the fish meal has been replaced with *H. illucens* larvae. The experiment was conducted on genetically homogeneous groups of fish that were kept in a closed water supply system for 77 days. For individual control of biometric and morphological parameters, a microchip was placed into each fish in the dorsal fin area. The relative increase in fish weight in the experimental group was 13% higher than in the control group. The differences between the arithmetic means become obvious on the 50th day from the beginning of the experiment and reach a maximum towards its end.

Keywords: aquaculture, black soldier fly, rainbow trout, fish food, chitin.

Funding: The research described in this publication was made possible in part by R&D Support Program for undergraduate and graduate students and postdoctoral researcher of PetrSU, funded by the Government of the Republic of Karelia.

For citation: Matrosova S. V., Lyabzina S. N., Gorbach V. V., Ilmast Yu. N. Evaluation of the feeding efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with a diet based on black soldier fly larvae // *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (71):11-23. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2023-71-11-23

ВВЕДЕНИЕ

Современное рыбоводство неразрывно связано с новыми технологиями, обеспечивающими высокий уровень производства, и одним из таких направлений является разработка рецептур кормов с заменой рыбной муки на альтернативные источники белка. При выращивании ценных пород рыб в искусственных условиях до сих пор главным компонентом для изготовления кормов остается высокая потребность в рыбной муке. Традиционно ее производят из промысловой рыбы, ежегодно используя около 85 % биоресурсов Мирового океана, что приводит к катастрофическому сокращению запасов [1].

В последнее время в аквакультуре лососевых рыб для производства кормов все чаще заменяют рыбную муку на концентраты растительных белков, белковые гидролизаты животного происхождения или муку из насекомых. Во многих странах мира использование двукрылых личинок тропической мухи черной львинки (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758) зарекомендовало себя как отличный ингредиент комбикормов и источник питательных веществ (аминокислот) в кормлении животных. На территории Российской Федерации применение комбикормов на основе личинок львинки в продуктивном животноводстве также показывает успешный результат по ключевым параметрам роста и увеличению живой массы практически у всех сельскохозяйственных животных [2, 3]. В рыбоводстве использование этих личинок, несомненно, улучшит продуктивные показатели рыб при выращивании в искусственных условиях. Это подтверждается положительными результатами использования протеин-хитинового концентрата из личинок черной львинки при кормлении атлантического лосося (*Salmo salar*) и красной тиляпии (*Oreochromis mossambicus* и *O. niloticus*) [4, 5].

В рационе дикой форели в природных бассейнах естественной пищей являются личинки практически всех водных насекомых, на которых она способна активно развиваться и набирать вес. Таким образом, для аквакультурной форели при индустриальном выращивании также не исключается возможность использовать насекомых в их рационе питания. Кроме того, по сравнению с другими источниками животного белка, личинки двукрылых не уступают по качеству аминокислотного состава и питательных веществ альтернативным компонентам кормов [6]. Эти насекомые обладают хорошей энергетической ценностью, поскольку содержат высокий уровень белков – 40–45 %, жиров – 30–35 %, а также богаты витаминами и минералами [7, 8]. Применяемых личинок черной львинки можно легко культивировать в лабораторных (или промышленных) условиях на разных пищевых субстратах [9, 10].

В связи с этим становятся актуальными исследования влияния данного кормового продукта на продуктивные показатели ценных пород рыбы. Настоящее исследование направлено на изучение влияния диеты на основе личинок черной

львинки на рыбоводно-биологические показатели радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальную часть проводили на базе научно-исследовательского центра по аквакультуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ) в 2022 г. В качестве объекта для тестирования использовали годовиков радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (1+) массой 786–820 г. Две группы рыб по 18 особей содержали в одинаковых условиях в бассейнах объемом 2,7 м³ с общим биофильтром, но разными условиями питания. Контрольной группе рыб предлагался производственный корм для форели по оптимальному рецепту, опытной – производственный корм с добавлением личинок черной львинки, выращенной на растительном субстрате.

Опытный и контрольный корм были изготовлены на производственной линии комбикормового завода в г. Калининграде. Компонентный состав кормов и подбор рецептуры разрабатывался по индивидуальному рецепту, учитывая потребности данной возрастной группы форели. В состав рецептуры опытного образца корма для форели были введены замороженные личинки тропической мухи в виде подготовленного кормового субстрата, пропущенного через экструдер с пшеничным глютенем. Кроме того корм содержал следующие компоненты: рыбную и кровяную муку, гидролизованное перо, концентрат соевого белка, соевый шрот, глютен пшеничный, мука зародышей пшеницы, премикс, бентонит и личинка черной львинки. В опытном образце корма произведена замена рыбной муки за счет добавления личинок черной львинки, составляя в общем 11 %. Рецепт корма для контрольной группы включал тот же набор компонентов, но без добавления личинок насекомых. Питательный состав испытываемых кормов был сбалансирован по физиологическим, биологическим и энергетическим потребностям рыб. Уровень сырого протеина в корме составлял не менее 48 %, сырого жира – не менее 17 %, углеводов – не менее 11%, количество переваримой энергии – 18 Мдж/кг.

На момент начала эксперимента форель была хорошо адаптирована к условиям содержания в установке замкнутого водоснабжения (УЗВ). Опытная партия форели в течение 3-х дней переводилась на новый корм методом дробного кормления, что составляло от суточной нормы в первый день 25 %, во второй – 50, третий – 75. Кормление рыбы происходило 2 раза в сутки. Норма кормления рассчитывалась с учетом энергетической питательности экструдированных кормов в зависимости от температуры воды и массы рыб. Продолжительность эксперимента составила 77 дней.

С целью учета индивидуальных биометрических и морфологических параметров каждой рыбе был введен микрочип «CetTag S14» (1,4*8 мм. «FDX-B», производитель «ISBC Group», Россия) подкожно-внутримышечно в область спинного плавника, чуть выше средней линии. Микрочип вместе с многовитковой антенной заключены в специальную капсулу размером 1,4 x 8 мм, выполненную из биосовместимого стекла с антимиграционным покрытием, исключая аллергическую реакцию, отторжение или перемещение (миграцию) под кожей живот-

ного. Каждый микрочип помещен в одноразовый шприц для введения и представляет собой приемник, передатчик и блок памяти для хранения кода.

Измерения в контрольной и опытной группах рыб проводили каждые 14 дней (35-й, 50-й, 64-й и 77-й день) после периода адаптации к условиям питания в течение месяца. Для выполнения измерения промеров массы и длины тела рыбу подвергали легкой анестезии с помощью гвоздичного масла (0,1 мл/л, 30 сек), которую часто применяют в аналогичных работах. При определении рыбободно-биологических показателей (рост, вес) использовали формулы абсолютного (A) и относительного (K) приростов:

$$A = W_1 - W_0$$

$$K = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \%$$

где W_1 – конечная масса рыб, W_0 – начальная масса рыб.

Под абсолютным приростом понимают увеличение живой массы за определенный промежуток времени, выраженное в граммах. Относительный прирост отражает темп роста рыб и показывает отношение абсолютного прироста живой массы к первоначальной, выраженное в процентах.

Условия содержания рыбы в бассейнах контролировались с помощью программно-аппаратного комплекса «Fish Grow Platform» * (ООО «Интернет-бизнес-системы» ПетрГУ), позволяющего регистрировать основные гидрохимические параметры. По рекомендациям авторов [11] для благоприятного содержания рыбы в бассейнах особенно необходимо контролировать в воде содержание аммиака, уровень нитритов и нитратов, которые сильно подвержены изменениям за счет метаболических процессов рыб при кормлении. В условиях эксперимента основные гидрохимические параметры (рН, $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, NO_2^- , NO_3^-) находились в пределах нормы, что свидетельствует о хорошей работе биофильтра в УЗВ (табл. 1).

Таблица 1. Гидрохимические параметры
 Table 1. Hydrochemical parameters

Показатель	t, °C	Индикатор рН	Общий аммиак ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, мг/л)	Нитриты (NO_2^-), мг/л	Нитраты (NO_3^-), мг/л	Кислород (O_2), мг/л
Среднее значение в бассейнах	17,8 ± 0,1	6,26 ± 0,04	0,006	0,01	5,00 ± 1,5	8,75 ± 0,1
Нормативное значение (ОСТ 15.372-87)	14–20	6–8	Не более 0,1	Не более 0,2	Не более 45,0	Не менее 8

Температура воды в бассейнах была постоянной и регулировалась кондиционированием воздуха в помещении УЗВ, водородный показатель поддерживался автоматическим внесением бикарбонатной буферной системы рН-плюс «Аqua-

леон». Насыщение воды кислородом и поддержание его концентрации на необходимом уровне обеспечивалось компрессорной системой «VARP» («Beta» 165×300).

Распределение массы тела рыб по каждому контрольному периоду в опытной и контрольной группах проверяли на нормальность критерием Лиллиефорса (L). Диапазоны варьирования параметров соответствующих эмпирических распределений оценивали простым непараметрическим бутстрепом с числом испытаний $B = 1000$. Доверительные интервалы устанавливали методом процентилей [12]. Поскольку во всех случаях эмпирические частоты соответствуют нормальному распределению ($L < 0,128$, $p > 0,0149$), для попарного сравнения выборок использовали параметрические критерии – Стьюдента (t) и Фишера (F). Динамику роста массы тела рыб (W , г) со временем от начала эксперимента (T , дни) описывали экспоненциальной моделью $W = b \exp(a T)$. Модельные параметры имеют биологический смысл: коэффициент b фиксирует начальную среднюю массу тела рыбы, параметр a – скорость ее роста. Для корректного сравнения скоростей в контроле и опыте приняли $b = \text{const}$. Скорости роста a сравнивали с помощью рандомизационного теста (MCR – Monte Carlo Randomization) с $B = 1000$. Значимость отличий p при таком подходе представляет собой скорректированную долю нуль-модельных комбинаций (эмпирическая разность значений коэффициента a не больше рандомизированной $|d_{\text{obs}}| \leq |d_{\text{ran}}|$) от общего числа испытаний B . Критической величиной для p принято стандартное значение $\alpha = 0,05$. Данные обрабатывали в среде MS Excel и R 4.0.1 с использованием базовых функций и функций пакета «Nortest» [13, 14].

В ходе эксперимента в опытной и контрольной группах наблюдалось увеличение веса радужной форели при выбранном режиме кормления. Результаты сравнения массы тела рыб в контроле и опыте указывают на значимый положительный эффект использования черной львинки в качестве корма. Более интенсивный рост веса рыбы при питании кормом на основе личинок черной львинки по сравнению с контрольными образцами подтверждается значениями описательной статистики.

При кормлении радужной форели диетой на основе личинки черной львинки рассматриваемые рыбоводно-биологические показатели имели значения выше, чем в контрольной группе (табл. 2). Рыба показывала хорошие результаты прироста с нулевым отходом за весь период исследования.

Таблица 2. Рыбоводно-биологические показатели радужной форели ($n = 18$)
 Table 2. Fish breeding and biological indicators of rainbow trout ($n = 18$)

Показатели	Опыт	Контроль
Средняя масса в начале выращивания, г	748	718
Средняя масса в конце выращивания, г	1224	1079
Абсолютный прирост массы за период, г	476,00	361,00
Относительный прирост массы за период, %	63,6	50,3
Кормовой коэффициент (КК)	0,87	0,97
Отход рыб за период эксперимента, шт.	0,0	0,0

Относительный прирост массы рыб в опытной группе составил 63,6 %, что выше более чем на 13 % (табл. 2). Следовательно, использование личинок черной львинки в рационе форели способствует более интенсивному набору живой массы рыб при меньшем расходе кормов.

Результаты сравнения массы тела рыб в контроле и опыте указывают на значимый положительный эффект использования черной львинки в качестве корма (табл. 3).

Таблица 3. Изменение массы тела особей (g) в ходе эксперимента
 Table 3. Change in body weight of individuals (g) during the experiment

Показатели	Время с начала эксперимента, дни				
	1	35	50	64	77
Контроль, $n = 18$					
<i>lim</i>	483–914	546–1072	534–1073	610–1230	681–1305
<i>M</i>	718 (657–776)	834 (761–904)	906 (830–974)	1007 (921–1083)	1079 (995–1156)
<i>S</i>	131 (82–159)	158 (102–191)	161 (101–200)	183 (105–231)	180 (95–230)
Опыт, $n = 18$					
<i>lim</i>	450–941	657–1212	825–1225	951–1427	1013–1549
<i>M</i>	748 (673–816)	920 (845–996)	1139 (1064–1219)	1019 (948–1089)	1224 (1143–1311)
<i>S</i>	143 (69–187)	154 (93–194)	139 (92–162)	150 (100–183)	162 (104–202)
<i>t</i>	0,617	1,548	2,087	2,175	2,356
<i>p</i>	0,542	0,132	0,045	0,038	0,025

Обозначения: n – число рыб в выборках; *lim* – диапазон варьирования массы тела; *M* – средняя арифметическая; *S* – стандартное отклонение, в скобках указаны диапазоны варьирования показателей, полученные методом бутстрепа; *t* – критерий Стьюдента; *p* – значимость различий средних арифметических между контролем и опытом для соответствующих периодов, значимые различия выделены полужирным шрифтом, дисперсии во всех случаях однородны (критерий Фишера, $F < 1,481$, $p > 0,478$).

Различия между средними арифметическими увеличиваются во времени, становясь очевидными на 50-й день с начала эксперимента и достигая максимума к его окончанию. При этом использование корма с львинкой не приводит к существенному увеличению изменчивости массы тела рыб, которое можно было бы ожидать из-за неоднородной адаптивной реакции рыб на новый корм. Даже, наоборот, на 50-й день и далее в опыте имело место сужение диапазона варьирования. Наблюдаемые различия стандартных отклонений ни в одном случае не подтверждаются статистически (критерий Фишера, $F < 1,481$, $p > 0,478$).

Согласно экспоненциальным моделям, рыбы в опыте набирали массу быстрее, чем в контроле (рис. 1, табл. 4).

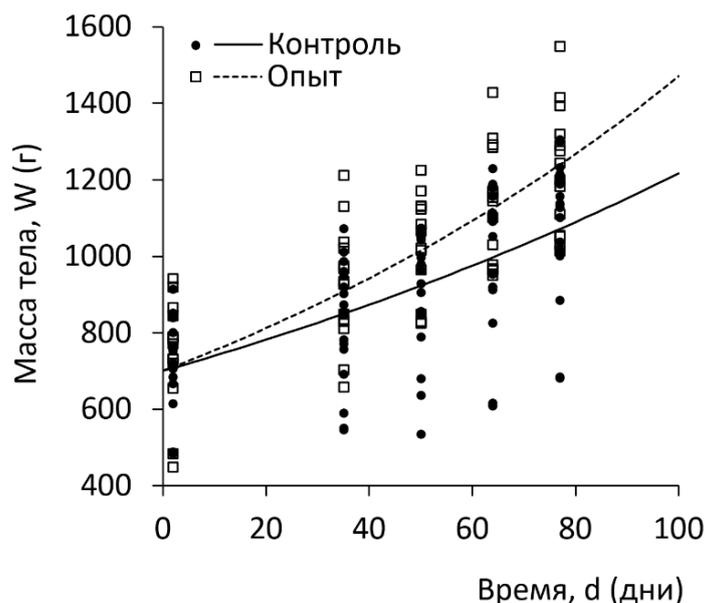


Рис. 1. Динамика роста форели в эксперименте. Маркерами указана масса тела особей в контроле и опыте, линиями – соответствующие экспоненциальные тренды, параметры моделей даны в табл. 4

Fig. 1. Growth dynamics of trout in the experiment. The markers indicate the body weight of individuals in the control and experiment, the lines indicate the corresponding exponential trends, the parameters of the models are given in table 4

Таблица 4. Параметры экспоненциальной модели роста форели в эксперименте, $W = 700 \exp(a T)$

Table 4. Parameters of the exponential trout growth model in the experiment, $W = 700 \exp(a T)$

Модель	a	t	p	R^2	lim
Контроль	0,0055	17,22	<0,001	0,384	0,0049 – 0,0061
Опыт	0,0074	25,20	<0,001	0,562	0,0069 – 0,0082

Обозначения: W – масса тела особи (г); T – число дней с начала эксперимента; a – средняя скорость роста особи; t – значение критерия Стьюдента; p – значимость отличия коэффициента a от нуля; R^2 – коэффициент детерминации; lim – интервалы варьирования коэффициента a , полученные методом бутстрепа.

Доверительные интервалы скоростей роста a не перекрываются, указывая на значимые различия этих модельных параметров (MCR-тест: $p = 0,010$). Большое значение коэффициента детерминации R^2 в опыте является индикатором уменьшения изменчивости массы тела рыб вследствие ослабления влияния на рост особей неконтролируемых, случайных факторов.

Наличие нативной личинки в опытном корме, содержащей хитиновые оболочки, оказывает положительное влияние на накопление массы форели в опытной группе. Хитин как основной компонент покровных тканей насекомых обязательно присутствует и в наружном покрове личинок. Он способен расщепляться, перевариваться и усваиваться в желудке лишь некоторых видов рыб, которые имеют особые ферменты – гликозидазы. Однако рядом авторов обсуждается, что исполь-

зование насекомых в качестве замены рыбной муки или рыбьего жира в кормовых рационах рыб имеет отрицательные эффекты воздействия ввиду наличия хитина и высокого содержания насыщенных жирных кислот, что приводит к снижению усвояемости [16, 17]. Для лососевых рыб характерно присутствие в желудочном соке важных ферментов, таких как хитиназа, лизоцим, амилаза, гиалуронидаза, осуществляющих гидролиз гликозидных связей полисахаридов. Хитиназа разрушает экзоскелет насекомого и усиливает пищеварительную активность. Имеются экспериментальные данные, что у радужной форели степень перевариваемости жира и хитинсодержащих компонентов выше, чем у тиляпий [15] и других видов рыб [5].

Более интенсивное накопление массы радужной форели в опытной группе, вероятно, связано с питательной ценностью хитина черной львинки, который проявляется как дополнительный источник аминного азота и не препятствует пищеварению радужной форели. При этом наличие хитина личинок насекомых в опытном комбикорме не приводит к предполагаемому снижению массы мышечной ткани рыб по окончании экспериментального кормления.

В связи с тем, что потребность рыбы в белке меняется в процессе жизненного цикла, ожидается, что применение личинок черной львинки в комбикормах для форели раннего возраста (0+) как дополнительного источника аминокислот приведет к более интенсивному накоплению массы. Молодые особи способны эффективно расходовать протеин на пластический обмен, а с возрастом он в большей степени расходуется на энергетические потребности организма рыб [18]. Таким образом, при полном цикле выращивания радужной форели целесообразнее использовать пищевой потенциал черной львинки в стартовых кормах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют сделать вывод о положительном влиянии продукционных комбикормов с личинками черной львинки *Hermetia illucens* на эффективность роста радужной форели после 50-ти дней кормления (критерий Фишера, $F < 1,481$, $p > 0,478$). Питание кормом, содержащим 11 % личинок, не оказывает негативного влияния на рыбоводно-биологические показатели при выращивании годовиков форели в условиях УЗВ. Оценка эффективности кормления радужной форели диетой на основе личинки черной львинки показала хороший результат по приростам. Высокая степень достоверности полученных результатов подтверждает возможность использования личинок черной львинки как альтернативную замену белка животного происхождения в кормах для радужной форели. Предполагается, что применение личинок в кормовых рационах будет способствовать сокращению затрат при производстве кормов и интенсификации форелеводства, что будет способствовать устойчивому развитию отрасли аквакультуры.

Список источников

1. Лагуткина Л. Ю. Перспективное развитие мирового производства кормов для аквакультуры: альтернативные источники сырья // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2017. № 1. С. 67–78.

2. Минияров Ф. Т. Ресурсосберегающие биотехнологии по использованию насекомых // Естественные науки: актуальные вопросы и социальные вызовы: материалы Международной научно-практической конференции. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2020. С. 82–84.
3. Романенко Е. А. Качество пищевых яиц при использовании кормового белка из личинок мух черная львинка (*Hermetia illucens*) // Sciences of Europe. 2021. № 85 (2). С. 3–5.
4. Lock E. R., Arsiwalla T., Waagbø R. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt // Aquaculture nutrition. 2016. V. 22. N 6. P. 1202–1213.
5. Использование протеин-хитинового концентрата личинок черной львинки (*Hermetia illucens*) в рационе всеядных рыб на примере красной тиляпии / Н. А. Ушакова, С. В. Пономарев, Ю. В. Федоровых, А. И. Бастраков // Известия Уфимского научного центра РАН. 2018. № 3. С. 57–62.
6. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates / T. Spranghers, M. Ottoboni, C. Klootwijk, A. Ouyun, S. Deboosere, B. Meulenaer, J. Michiels, M. Eeckhout, P. De Clercq, S. De Smet // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. V. 97. P. 2594–2600. DOI: 10.1002/jsfa.8081.
7. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine / G. L. Newton, C. V. Booram, R. W. Baker, O. M. Hale // Journal of Animal Science. 1977. V. 44. N 3. P. 395–400.
8. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*) / I. Belghit, N. Liland, P. Gjesdal, I. Biancarosa, E. Menchetti, Li Yanxian, R. Waagbø, A. Krogdahl, E. Lock // Aquaculture. 2018. V. 503. P. 609–619. DOI:10.1016/j.aquaculture.2018.12.032
9. Evaluating the growth and development of black soldier fly (BSF) (*Hermetia illucens* (L.) Diptera Stratiomyidae) larvae reared on different agricultural waste materials // F. Mohd Rasdi, A. Razali Ishak, P. Wee Hua, S. Norashikin Mohd Shaifuddin, N. Che Dom, F. Ayuni Shafie, A. Mujid Abdullah, Z. Abdul Kari, H. Atan Edinur // Serranga. 2023. V. 289. N 1. P. 55–68.
10. Growth and Development of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) Larvae Grown on Carbohydrate, Protein, and Fruit-Based Waste Substrates / F. Mohd Rasdi, A. Razali Ishak, P. Wee Hua, S. Norashikin Mohd Shaifuddin, N. Che Dom, F. Ayuni Shafie, A. Mujid Abdullah, Z. Abdul Kari, H. Atan Edinur // Malaysian Applied Biology. 2022. V. 51. N 6. P. 57–64. DOI: 10.55230/mabjournal.v51i6.2386.
11. Барулин Н. В. Аквакультура ценных видов рыб и ресурсосберегающие технологии. Горки: БГСХА, 2018. Ч. 1. 237 с.
12. Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Кассандра, 2013. 314 с.
13. Gross J., Ligges U. Package ‘nortest’: Tests for Normality. Ver. 1.0-4 (2022–10–13). URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/nortest.pdf> (дата обращения: 10.04.2023).

14. R Core Team, 2020. R: a language and environment for statistical computing. R version 4.0.1. (2020–06–06). Vienna: R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.r-project.org/> (дата обращения: 14.05.2021).
15. Физиологические основы питательной ценности концентрата личинок *Hermetia illucens* в рационе рыб / Н. А. Ушакова, С. В. Пономарев, Ю. В. Федоровых, А.И. Бастраков, Д.С. Павлов // Известия Академии наук СССР. Серия биологическая. 2020. № 3. С. 293–300.
16. 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. V. 203. P. 1–22.
17. A six-months study on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) based diets in zebrafish / M. Zarantoniello, B. Randazzo, C. Truzzi, E. Giorgini, C. Marcellucci, J. Vargas-Abúndez, A. Zimbelli, A. Annibaldi, G. Parisi, F. Tulli, P. Riolo, I. Olivotto // Scientific Reports. V.9(1). 2019. P.1-12. DOI:10.1038/s41598-019-45172-5
18. Goodrich H. R., Clark T. D. Why do some fish grow faster than others? // Fish and Fisheries. 2023. DOI:10.32942/X2S59W.

References

1. Lagutkina L. Yu. Perspektivnoe razvitie mirovogo proizvodstva kormov dlya akvakul'tury: al'ternativnye istochniki syr'ya [Promising development of global aquaculture feed production: alternative sources of raw materials]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2017, no. 1, pp. 67–78.
2. Miniyarov F. T. Resursosberegayushchie biotekhnologii po ispol'zovaniyu nasekomykh [Resource-saving biotechnologies for the use of insects]. *Estestvenny'e nauki: aktual'nye voprosy i sotsial'nye vyzovy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Astrakhan', Astrakhanskiy universitet Publ., 2020, pp. 82–84.
3. Romanenko E. A. Kachestvo pishchevykh yaits pri ispol'zovanii kormovogo belka iz lichinok mukh chernaya l'vinka (*Hermetia illucens*) [Quality of edible eggs by using feed protein from black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*)]. *Sciences of Europe*, 2021, vol. 85, no. 2, pp. 3–5.
4. Lock E. R., Arsiwalla T., Waagbø R. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture nutrition*, 2016, vol. 22, no. 6, pp. 1202–1213.
5. Ushakova N. A., Ponomarev S. V., Fedorovykh Yu. V., Bastrakov A. I. Ispol'zovanie protein-khitinovogo kontsentrata lichinok chernoy l'vinki (*Hermetia illucens*) v ratsione vseядnykh ryb na primere krasnoy tilyapii [The use of protein-chitin concentrate of the larvae of the black lion (*Hermetia illucens*) in the diet of omnivorous fish on the example of red tilapia]. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2018, vol. 3, pp. 57–62.
6. Spranghers T., Ottoboni M., Klootwijk C., Obyn A., Deboosere S., Meulenaer B., Michiels J., Eeckhout M., Clercq P. De, Smet S. De. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste sub-

strates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, vol. 97, pp. 2594–2600. DOI: 10.1002/jsfa.8081.

7. Newton G. L., Booram C. V., Baker R. W., Hale O. M. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 1977, vol. 44, no. 3, pp. 395–400.

8. Belghit I., Liland N., Gjesdal P., Biancarosa I., Menchetti E., Li Yanxian, Waagbø R., Krogdahl A., Lock Erik-Jan. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 2018, vol. 50, pp. 609–619. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.12.032.

9. Franco A., Scieuzo C., Salvia R., Mancini I.M., Caniani D., Masi S., Falabella P. Evaluating the growth and development of black soldier fly (BSF) (*Hermetia illucens* (L.), Diptera Stratiomyidae) larvae reared on different agricultural waste materials. *Serranga*, 2023, vol. 289, no. 1, pp. 55–68.

10. Mohd Rasdi F.L., Ishak A.R., Hua P.W., Mohd Shaifuddin S.N., Che Dom N., Shafie F.A., Abdullah A.M., Abdul Kari Z., Edinur H.A. Growth and development of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera Stratiomyidae) larvae grown on carbohydrate, protein, and fruit-based waste substrates. *Malaysian Applied Biology*, 2022, vol. 51, no. 6, pp. 57–64. DOI: 10.55230/mabjournal.v51i6.2386.

11. Barulin N. V. *Akvakul'tura tsennykh vidov ryb i resursosberegayushchie tekhnologii* [Aquaculture of valuable fish species and resource-saving technologies]. Gorki, BGSKHA Publ., 2018, part 1, 237 p.

12. Shitikov V. K., Rozenberg G. S. *Randomizatsiya i butstrep: statisticheskiy analiz v biologii i ekologii s ispol'zovaniem R* [Randomization and bootstrap: statistical analysis in biology and ecology using R.]. Tol'yatti, Kassandra Publ., 2013, 314 p.

13. Gross J., Ligges U. Package 'nortest': Tests for Normality. Ver. 1.0-4 (2022–10–13). Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/nortest.pdf> (Accessed 10 April 2023).

14. R Core Team, 2020. R a language and environment for statistical computing. R version 4.0.1. (2020–06–06). Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available at: <http://www.r-project.org> (Accessed 14 May 2021).

15. Ushakova N. A., Ponomarev S. V., Fedorovykh Yu. V., Bastrakov A. I., Pavlov D. S. Fiziologicheskie osnovy pitatel'noy tsennosti kontsentrata lichinok *Hermetia illucens* v ratsione ryb [Physiological basis of nutritional value of *Hermetia illucens* larval concentrate in fish diet]. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya biolo-gicheskaya*, 2020, no. 3, pp. 293–300.

16. Henry M., Gasco L., Piccolo G., Fountoulaki E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, vol. 203, pp. 1–22.

17. Zarantonello M., Randazzo B., Truzzi C., Giorgini E., Marcellucci C., Vargas-Abúndez J., Zimbelli A., Annibaldi A., Parisi G., Tulli F., Riolo P., Olivotto I. A six-months study on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) based diets in zebrafish. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1038/s41598-019-45172-5/.

18. Goodrich H. R., Clark T. D. Why do some fish grow faster than others? *Fish and Fisheries*, 2023. DOI: 10.32942/X2S59W.

Информация об авторах

С. В. Матросова – директор научно-исследовательского центра по аквакультуре, преподаватель кафедры общей химии

С. Н. Лябзина – доктор биологических наук, профессор

В. В. Горбач – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой зоологии и экологии

Ю. Н. Ильмаст – студент

Information about the authors

S. V. Matrosova – Head of Aquaculture Research Center, Lecturer, Department of General Chemistry

S. N. Lyabzina – Doctor of Biology, Professor

V. V. Gorbach – Doctor of Biology, Head of the Department of Zoology and Ecology

Yu. N. Ilmast – student

Статья поступила в редакцию 11.09.2023; одобрена после рецензирования 21.09.2023; принята к публикации 29.09.2023.

The article was submitted 11.09.2023; approved after reviewing 21.09.2023; accepted for publication 29.09.2023.