

ТОВАРНАЯ АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ГИДРОБИОНТОВ

DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81
УДК 637.56

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ НАСЕКОМЫХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В АКВАКУЛЬТУРЕ (КРАТКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)¹

И. Г. Шайхиев¹, С. В. Свергузова², Ж. А. Сапронова², А. В. Святченко², Н. А. Ушакова³

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Республика Татарстан, Казань, Российская Федерация

²Белгородский государственный технический университет им. В. Г. Шухова,
Белгород, Российская Федерация

³Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук,
Москва, Российская Федерация

Обобщены сведения из зарубежных литературных источников о выращивании форели радужной, или микижи (*Oncorhynchus mykiss*), при включении в рационы кормов высушенной и/или обезжиренной биомассы насекомых. Для добавления в рацион питания радужной форели и других видов рыб рекомендованы следующие виды насекомых: личинки и/или куколки двукрылой мухи (*Hermetia illucens*), домашней мухи (*Musca domestica*), личинки мучного червя (*Tenebrio molitor*), саранча и кузнечики (*Acrididae*), сверчки (*Gryllidae*) и катидиды (*Tettigoniidae*), куколки тутового шелкопряда (*Bombyx mori*). Приведены сведения о содержании белков и жирных кислот в свежих и высушенных личинках насекомых. Отмечается, что мука из высушенной биомассы насекомых содержит большое количество аминокислот и жирных кислот. Приведены сведения о влиянии включения в корм для рыб муки из личинок насекомых на увеличение массы молоди и взрослых особей радужной форели, усвояемость сухого вещества корма, органолептические показатели филе рыб, аминокислотный и жирнокислотный состав и другие показатели. Определено, что в большинстве случаев коэффициент выживания молоди *Oncorhynchus mykiss* значительно выше в опытных группах, в которых осуществлялось кормление рыб рационом, содержащим муку из насекомых. Сделан вывод, что включение муки из биомассы насекомых в определенных пропорциях положительно влияет на рост и жизнедеятельность особей *Oncorhynchus mykiss*. Наиболее перспективным видится использование в качестве ингредиента в рационе для выращивания радужной форели в аквакультуре муки из личинок *Hermetia illucens*, т. к. последние имеют наибольший выход биомассы в единицу времени по сравнению с другими насекомыми.

Ключевые слова: аквакультура, *Oncorhynchus mykiss*, радужная форель, рацион, мука из личинок насекомых.

Для цитирования: Шайхиев И. Г., Свергузова С. В., Сапронова Ж. А., Святченко А. В., Ушакова Н. А. Использование биомассы насекомых для выращивания радужной форели в аквакультуре (краткий обзор зарубежной литературы) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. № 1. С. 69–81. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-070 от 29.11.2019 г.

Введение

Рыба и другие морепродукты обеспечивают человечество белками, жирными кислотами и другими ценными веществами и входят в список основных продуктов питания. Однако интенсивный рост народонаселения планеты (к 2050 г. прогнозируется увеличение численности людей до 10 млрд) привел к резкому сокращению рыбных запасов и диких морепродуктов в Мировом океане.

Альтернативой создававшемуся положению является развитие аквакультуры – разведение и выращивание водных организмов (рыб, ракообразных, моллюсков, водорослей) в естественных и искусственных водоемах, а также на специально созданных морских плантациях. В последние годы объем выращенных рыб в условиях аквакультуры превысил дикий вылов рыб из Мирового океана. В настоящее время 52 % потребляемой человечеством рыбы выращено в условиях аквакультуры [1]. Однако в сфере искусственного воспроизводства и выращивания рыбы в условиях аквакультуры возникла серьезная проблема: ввиду сокращения запасов диких морепродуктов, в том числе рыбы, существенно уменьшились объемы вырабатываемой рыбной муки и рыбьего жира, входящих в состав рационов для кормления рыб. Развитие аквакультуры и увеличившийся спрос на выращиваемую рыбу привели к росту цен на рыбную муку и рыбий жир, используемые в кормлении рыб в последние годы, что делает процесс промышленного выращивания рыбы малорентабельным.

В последние годы наметилась перспективная тенденция, которая интенсивно развивается в мировом сообществе – использование в качестве ингредиентов в рационах для выращивания различных видов домашних животных (свиньи, кролики), птиц (цыплята, индюшки, перепела) биомассы различных насекомых. Последние также нашли широкое распространение в аквакультуре для кормления и выращивания различных видов рыб [2–8].

Биомасса насекомых как кормовая добавка для рыбы

К использованию в качестве добавок в кормовые смеси для выращивания животных, птиц и рыб биомассы рекомендованы 7 следующих видов насекомых: личинки и/или куколки двукрылой мухи (*Hermetia illucens*), домашней мухи (*Musca domestica*), личинки мучного червя (*Tenebrio molitor*), саранча и кузнечики (*Acrididae*), сверчки (*Gryllidae*) и катидиды (*Tettigoniidae*) и куколки тутового шелкопряда (*Bombyx mori*) [8].

Наиболее широко в аквакультуре, особенно в европейских странах, выращивается форель радужная, или микижа (*Oncorhynchus mykiss*), которая является объектом прудового рыбоводства. Длина рыбы составляет 50–90 см, масса до 2 кг, реже 6–8 кг. С конца прошлого столетия эта ценная рыба акклиматизирована в Японии, Австралии, Тасмании, Новой Зеландии, южной Африке, на Мадагаскаре и в ряде других мест земного шара. В Западной Европе она является массовым объектом прудового рыбоводства, акклиматизирована также в некоторых реках. Половая зрелость у самок микижи наступает на 3–4 году жизни, у самцов на год раньше. При выращивании в прудах рост особей сильно колеблется в зависимости от условий кормления и нагула. Обычно двухлетки достигают веса 350–450 г, трехлетки 1–1,2 кг, четырехлетки 2 кг и более. Взрослые особи питаются самыми разнообразными животными организмами – от мелких рачков, личинок насекомых до мелкой рыбы. Радужная форель оказалась перспективной для прудового выращивания с использованием искусственных кормовых смесей, т. к. эта рыба очень легко приспосабливается к новой пище. Во многих странах мира она выращивается в садках, высаживается в небольшие речки и озера для промышленного и любительского рыболовства. Мясо микижи необыкновенно вкусно и повсеместно ценится очень высоко, благодаря чему во многих странах Европы ее производству уделяется серьезное внимание. Общеизвестными центрами форелеводства являются Дания, Франция, Италия, где ежегодно выращивается 140–180 тыс. ц этой рыбы.

Наибольшее количество зарубежных публикаций посвящено выращиванию микижи с использованием в качестве ингредиента кормовых смесей муки из личинок мухи вида *Hermetia illucens* – крупной мухи из семейства львинковых (*Stratiomyia chamaeleon*). В России она носит название «черная львинка».

Отличительной чертой личинок *Hermetia illucens* является их состав из сырого белка, жирных кислот, хитина и др. Сухое вещество личинок на 32–40 % состоит из белков и на 13–42 % – из

жиров в зависимости от субстрата, на котором они развивались [9]. В составе сухого вещества биомассы личинок *Hermetia illucens* содержатся такие аминокислоты, как аргинин, гистидин, лейцин и изолейцин, лизин, фенилаланин, тирозин, валин и др., а также такие кислоты, как лауриновая, миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, линоленовая и др.

Данное обстоятельство делает высушенную биомассу личинок *Hermetia illucens* весьма питательной, способной заменить рыбную муку при кормлении и выращивании рыб в аквакультуре.

За рубежом проводились многочисленные исследования по изучению возможности замены рыбной муки в рационе *Oncorhynchus mykiss* на 25 и 50 % высушенной биомассы личинок насекомого. Откармливанию подвергались особи микижи с первоначальной массой $66,5 \pm 2,3$ [10], $137 \pm 10,5$ [11] и $178,9 \pm 9,8$ г [12–14] в течение различных периодов времени. Количество подаваемого корма составляло от 1,2 до 1,5 % от веса массы рыб [15, 16]. Стоимость откорма рыбы при этом уменьшилась на 20 %.

Проводился цикл работ по кормлению радужной форели с начальной средней массой 339,4 [17] и $1\ 458 \pm 34$ г [18] с заменой 25 и 50 % рыбной муки высушенной биомассой *Hermetia illucens*. Рацион был составлен так, что он содержал в своем составе 45 % белков. Установлено, что рост рыб, получавших такое содержание, был ниже по сравнению с контролем.

В другом исследовании проводилось откармливание молоди радужной форели массой $53,4 \pm 3,4$ г в течение 71 дня кормом из овощей и пшеничных отрубей (50/50), в котором 20 % заменялось мукой из личинок насекомых [19]. Указывается, что у рыб, получавших муку из личинок насекомых, наблюдалось повышенное содержание липидов и пониженное содержание белков. Кроме того, при контрольной дегустации не было выявлено никаких различий, за исключением более темной окраски рыб из опытных групп [10].

Выявлено, что кормление мальков радужной форели кормом, содержащим 50 % муки из личинок *Hermetia illucens*, несколько снижало желтизну филе. Зафиксировано увеличение содержания насыщенных жирных кислот в филе особей из экспериментальных групп. Выявлено, что изменения, произошедшие в филе форели, связаны с химическим составом муки *Hermetia illucens* и процентным соотношением ее в рационе [11]. В то же время установлено, что опытные корма влияют на филе форели. Описательный анализ показал изменение воспринимаемой интенсивности аромата, вкуса и текстурных дескрипторов в зависимости от состава рациона [12].

Было проведено исследование физических и химических параметров филе радужной форели с добавкой в корм муки в разных соотношениях (0, 25 и 50 %) в течение 120 дней хранения в замороженном виде и после приготовления. Различия в качественных признаках филе появились после 30 дней хранения в замороженном виде и оставались практически неизменными в течение остальных 90 дней. Повышение содержания личинок *Hermetia illucens* не влияло на значение рН, цвет и способность филе удерживать воду [16].

Также указывается, что никаких существенных различий в росте рыб из контрольной и опытных групп не наблюдалось, однако у особей, которых кормили рационом с 50 %-й заменой рыбной муки на высушенную биомассу личинок мух, выявлены как печеночные, так и кишечные изменения [20]. Так, использование муки из личинок *Hermetia illucens* вызывало снижение содержания полиненасыщенных жирных кислот в биомассе радужной форели.

Кормление экспериментальными рационами не влияло на выживаемость особей, показатели роста, соматические показатели и параметры качества дорсального филе в опытных группах [21]. Гистопатологическое исследование печени, селезенки и кишечника не выявило побочных эффектов после повышения уровня включений муки из личинок насекомых в рацион питания рыб [22].

Кроме того, выявлено, что особи *Oncorhynchus mykiss*, получавшие корм на основе насекомых, продемонстрировали более высокое бактериальное разнообразие в кишечнике с уменьшением протеобактерий по сравнению с рыбой, питавшейся рыбной мукой. Включение в рацион муки из личинок насекомых усилило кишечное изобилие микоплазмы, что объясняется ее способностью продуцировать молочную и уксусную кислоты в качестве конечных продуктов ферментации [21, 22].

Частично обезжиренную муку из личинок *Hermetia illucens* можно использовать в качестве кормового ингредиента в рационе радужной форели. В Германии для годового производства радужной форели в объеме 8 466 т для замены 1 556 т рыбной муки (70,9 % белка в день) требуется 2 699 т муки из личинок черной львинки (40,7 % белка в день), а сама потребность в пищевых отходах для питания личинок составляет 22 942 т [23].

Рекомендуется заменять до 50 % рыбной муки биомассой личинки *Hermetia illucens* в рационе радужной форели, это не оказывает негативного влияния на показатели роста рыбы, включая скорость увеличения массы, удельный темп роста, коэффициент эффективности белка и др. [24].

Другим насекомым, личинки которого также исследовались в качестве ингредиента кормов для откармливания рыб, в том числе и *Oncorhynchus mykiss*, является большой мучной хрущак, или мучной червь (*Tenebrio molitor*) – насекомое из отряда жесткокрылых. Мучные черви – его личиночная форма.

Выявлено, что оптимальная температура для роста личинок *Tenebrio molitor* составляет 25–28 °С, скорость роста личинок является наибольшей при относительной влажности воздуха ≥ 70 % (RH) с оптимальным диапазоном относительной влажности 60–75 %, оптимальный рост достигается с помощью рационов, содержащих 5–10 % дрожжей, 80–90 % углеводов с добавлением витаминов группы В [25, 26]. Предлагается, в частности, выращивание личинок на смеси, содержащей 75 % пшеничной муки и 25 % отжимки от производства оливкового масла [27].

Свежие личинки *Tenebrio molitor* содержат 56 % воды, 18 % общего белка, 22 % общего жира и 1,55 % золы. Определено содержание металлов в составе личинок хрущака (мг/кг): Mg – 875, Zn – 42, Fe – 38, Cu – 7,8, Mn – 4,4 [28]. Мука из высушенных личинок содержала в два раза больше белка, жира, золы и металлов.

Порошок из высушенных личинок *Tenebrio molitor* содержит все незаменимые аминокислоты в достаточных количествах, чтобы удовлетворить диетические потребности рыбы, за исключением дефицита метионина. Содержание растворимых белков в сухом веществе составляло 80–84 %. По содержанию аминокислот мука из личинок мучного червя сопоставима с рыбной и соевой мукой, используемой в качестве корма для рыб [29, 30]. Аминокислотный профиль муки из личинок *Tenebrio molitor* аналогичен таковому у рыбной муки и имеет более высокие концентрации, чем соевая мука. В целом мука из личинок насекомого имеет более высокие концентрации незаменимых аминокислот, чем соевый шрот. Сумма аминокислот в муке насекомых ниже, содержание белков выше, и они лучше усваиваются, чем обычно используемые рыбная и соевая мука в рационе рыб [31].

Выявлено, что в составе белков личинок *Tenebrio molitor* более всего содержатся следующие аминокислоты (г/кг белка): фенилаланин + тирозин – 52,2, изолейцин – 35,56, лейцин – 34,05, лизин – 29,06, валин – 24,4, треонин – 18,07, гистидин – 15,27 и др. В составе жиров более всего содержится (г/кг жира) олеиновой кислоты – 431,7, линоленовой – 302,3, пальмитиновой – 167,2, миристиновой – 30,5, стеариновой – 24,9 и др.

В исследовании [32] молодь радужной форели массой $115,6 \pm 14,0$ г в течение 90 дней откармливалась рационами, в которых рыбная мука на 25 (ТМ₂₅) и 50 % (ТМ₅₀) заменялась мукой из личинок *Tenebrio molitor*. Определено, что увеличение веса рыб не зависело от рациона, но коэффициент конверсии корма в контрольной группе был значительно выше, чем в опытных. Выявлено, что кажущаяся усвояемость белка значительно ниже в группе форелей, которые питались рационом ТМ₅₀, чем в другие группы. В то же время установлено, что усвояемость сухого вещества корма, органических веществ и липидов не зависит от состава рациона. Кроме того, коэффициент выживания молоди *Oncorhynchus mykiss* значительно ниже в контрольной группе по сравнению с опытными. Включение муки из личинок *Tenebrio molitor* в рацион кормления форели приводило к увеличению содержания белка и уменьшению липидов в филе [32].

Не обнаружено статистических различий для морфометрических и убойных признаков, а также в значениях pH, водоудерживающей способности, потерь при варке в сырых и вареных образцах филе рыб из контрольной и опытных групп. Более того, опытные рационы не влияли на цвет сырого и приготовленного филе, однако наблюдались значительные различия в цвете кожи рыб (дорсальная область): более высокий индекс покраснения был характерен для контрольной группы рыб и рыб, питавшихся рационом ТМ₂₅ [33, 34]. Соотношение жирных кислот в спинной мышце рыб линейно уменьшалось с увеличением количества муки из личинок насекомого в рационе [32]. Выявлено, что содержание пальмитиновой, олеиновой и линолевой кислот в филе повышалось с увеличением содержания муки из личинок в рационе для кормления рыб [33, 34].

В филе рыб, кормившихся рационом, содержащим TM_{50} , содержался значительно более высокий уровень аланина, таурина (Tau), тирозина (Tyr), цистеина (Cys) и пролина (Pro) по сравнению с контрольной группой, тогда как содержание глутамина, гистидина, метионина снижалось [35].

В другом исследовании [36] молодь форели массой $5,01 \pm 0,1$ г откармливалась 5 рационами: контрольным – с 25 % рыбной муки в рационе – и 4 экспериментальными – с белковой мукой из личинок *Tenebrio molitor* в количестве 5, 7,5, 15 и 25 %, что соответствует замене рыбной муки на 20, 30, 60 или 100 % соответственно. Через 90 дней включение муки из личинок привело к постепенному, но значительному увеличению в конечной массе тела рыб и удельной скорости роста, а также усвоения белка по сравнению с контрольной обработкой. Определено, что независимо от содержания в рационе белковая мука из личинок насекомых не оказывала влияния на состав всего тела рыб и очевидную усвояемость корма. Содержание белков и фосфора значительно увеличилась у молоди форели, вскармливаемой рационами, содержащими белковую муку от личинок *Tenebrio molitor* [36].

В [37] исследовалось влияние частично обезжиренной муки из личинок *Tenebrio molitor* на рост, усвояемость пищи и промежуточный метаболизм в печени радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) массой $78,3 \pm 6,24$ г при кормлении в течение 154 дней. Для этого рыбная мука на 25 (TM_{25}), 50 (TM_{50}) и 100 % (TM_{100}) заменялась мукой из личинок *Tenebrio molitor*, что соответствует уровням включения в рацион в количестве 5, 10 и 20 % соответственно. Определены коэффициенты усвояемости сырого белка, которые уменьшаются с увеличением содержания личиночной муки в рационе для кормления. Также выявлено, что содержание обезжиренной муки из личинок *Tenebrio molitor* в рационе не влияет на активность основных аминокислот, катаболических и липогенных ферментов в печени рыб [37].

Выявлено, что при замене рыбной муки на биомассу высушенных личинок мучного хруща на 33 % увеличилось количество видов бактерий из родов Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes и Actinobacteria в кишечнике радужной форели [38]. Кроме того, наличие личиночной муки в рационе для кормления форели приводит к сильному увеличению активности антиоксидантных кишечных ферментов и снижению перекисного окисления липидов. Также обнаружено повышенное ингибирование трипсина и более быстрая антибактериальная активность сыворотки [39].

Сделаны выводы, что личинки *Tenebrio molitor* могут заменить рыбную муку в рационе мальков радужной форели, положительно влияя на общую зоотехническую эффективность ее выращивания [35, 36]. Частично обезжиренная мука из личинок хрущака может полностью заменить рыбную муку в рационе радужной форели без негативного влияния на продуктивность рыбы, не оказывая отрицательного влияния на характеристики рыбы и на большинство качественных характеристик мяса рыбы, за исключением профиля жирных кислот [37].

Также в качестве ингредиента кормов для питания различных видов рыб исследовались личинки комнатной мухи (*Musca domestica* – вид короткоусых двукрылых из семейства Muscidae). Личинки комнатных мух имеют длину до 13 мм, белого цвета, безногие, со стороны ротового отверстия заостренные, сзади усеченной формы. В качестве субстрата для развития личинок могут использоваться различные органические отходы, включая навоз, птичий помет и пр.

За год сменяется от 9 до 20 поколений комнатных мух.

Определен состав личинок *Musca domestica* [40], г/кг: сырой белок – 568–594, сырой жир – 200–224, зольность – 67–142, не содержащие азота экстракты – 80,8. Как видно, личинки комнатной мухи содержат в своем составе более всего белков и являются ценным кормовым продуктом в рационе для выращивания рыб, в том числе *Oncorhynchus mykiss*.

Выявлено, что замена 50 % коммерческого корма мукой из личинок *Musca domestica* приводил к аналогичным (11,8 г/сут) показателям роста в контрольной и опытной группах форелей в течение 50-дневного периода эксперимента. Но замена корма на 100 % мукой из личинок и куколок комнатной мухи привели к снижению скорости роста радужной форели на 57–80 %, вероятно, из-за более низкой усвояемости опытного рациона [41].

Проводилось 9-недельное испытание кормов, чтобы определить, можно ли использовать личинок мух как частичную замену рыбной муки и замену рыбьего жира в рационах для выращивания радужной форели. Формула рациона форели содержала 40 % сырого белка и 15 % жира. 67 % белка в контрольном рационе получены из рыбной муки, а весь жир – из рыбьего жира. Тестовый рацион включал муку из куколок *Musca domestica*, которая на 70 % состояла из белка

и 16 % жира, в качестве замены на 25 % для компонента рыбной муки в контрольном рационе. Установлено, что рацион радужной форели, в котором куколки мухи составляют 15 % от общего белка, не оказывает неблагоприятного влияния на коэффициент преобразования корма рыб в течение всего периода кормления [42].

Сделаны выводы о возможности включения муки из личинок и куколок *Musca domestica* в количествах до 50 % в рацион для выращивания радужной форели [41, 42].

Также проведены исследования по использованию в качестве ингредиента для выращивания радужной форели куколок тутового шелкопряда (*Bombyx mori* – бабочка из семейства настоящие шелкопряды, производитель шелковой нити).

Сухие куколки шелкопряда содержат 50–70 % белков и 24–33 % жиров и являются высококачественным источником белка насекомых с богатым, сбалансированным содержанием незаменимых аминокислот [43]. Определено, что в составе жиров более всего присутствуют такие кислоты, как олеиновая (35,1 %), пальмитиновая (29,1 %), линоленовая (11,7 %), линолевая (11,4 %) и стеариновая (10,9 %) [44].

Личинки тутового шелкопряда исследовались как добавка к рациону при откармливании многих пород рыб, включая радужную форель [43]. Куколки *Bombyx mori* могут использоваться как альтернатива креветочной пище в рационе радужной форели без отрицательного влияния на показатели роста, коэффициент конверсии корма и удельную скорость роста. При замене рыбной муки куколками тутового шелкопряда в количестве 5, 10 и 15 % наблюдалось значительное снижение значения эритроцитов и гемоглобина относительно увеличения процента куколок шелкопряда в рационе особей *Oncorhynchus mykiss* [45]. Выявлено, что включение более 10 % куколок в рацион радужной форели снижало рост рыб [46]. В ходе исследования содержания перевариваемого неочищенного белка при различных температурах окружающей водной среды выявлено, что усвояемость рациона на основе куколок *Bombyx mori* для радужной форели была самой высокой при 15 °С [47]. Указывается, что экономически эффективный рацион, содержащий в своем составе куколки шелкопряда, может быть использован в качестве альтернативы для полной замены креветок в рационе *Oncorhynchus mykiss* без ущерба для выживания и роста особей.

В работе [43] сделан вывод, что форель можно выращивать, заменяя рыбную муку до 5–15 % на высушенную биомассу куколок тутового шелкопряда, без влияния на показатели роста рыб.

В литературе отсутствуют сведения о выращивании радужной форели с использованием в качестве ингредиента кузнечиков и саранчи, но исследовано влияние кормления радужной форели биомассой домового сверчка (*Acheta domestica*) и личинками жука *Zophobas morio* [48]. В экспериментах [48] коммерческий корм на 25 % заменялся на живых сверчков или личинок жука, а также в соотношении 1 : 1. При кормлении в течение 60 дней не обнаружено существенных различий в росте и выживаемости особей в контрольной и опытных группах. Коэффициент эффективности усвоения белка был самым высоким в контрольной группе. Установлено, что включение насекомых в рацион привело к более низким значениям содержания в мышцах рыб жирных кислот. Субъективная сенсорная оценка приготовленного филе выявила значительно менее приемлемый вкус, аромат и послевкусие в группе рыб, питавшихся только насекомыми, по сравнению с другими группами. В то же время у рыб, питавшихся кормами, состоящими из насекомых, выявлен более светлый цвет филе. Не выявлено грубых морфологических или гистологических аномалий особей во всех группах [48].

Проводился 71-дневный эксперимент [49] по изучению влияния различных насекомых в рационе для откорма мальков радужной форели массой $53,39 \pm 3,74$ г. В рацион питания рыб включалось по 20 % от массы корма муки из *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, тропического домашнего сверчка (*Gryllobates sigillatus*) и туркестанского таракана (*Blatta lateralis*). Сформированные диеты были изонитрогенными (45 %) и изоэнергетическими (10 МДж/кг). Выявлено, что включение муки из насекомых не влияло на выживаемость особей в течение экспериментального периода. Отмечено увеличение массы у рыб, в рацион питания которых включены *Blatta lateralis* и *Tenebrio molitor*. Кормление форели диетой, содержащей *Hermetia illucens* в своем составе, не влияло на рост особей [49]. Таким образом, названные насекомые могут использоваться в качестве частичной замены рыбной муки без негативного влияния на параметры выживания или роста особей *Oncorhynchus mykiss*.

Заключение

Сделаны выводы, что насекомые могут рассматриваться как источники белка и функциональные компоненты корма, которые положительно влияют на гистоморфологическое строение желудочно-кишечного тракта рыб и стимулируют увеличение полезных бактериальных популяций в кишечнике.

Таким образом, включение муки из биомассы насекомых в определенных пропорциях оказывает положительное влияние на рост и жизнедеятельность особей *Oncorhynchus mykiss*. Однако для каждого вида насекомого есть свой предел для включения в рацион питания радужной форели. Наиболее перспективным видится использование в качестве ингредиента в рационе для выращивания радужной форели в аквакультуре муки из личинок *Hermetia illucens*, т. к. последние имеют наибольший выход биомассы в единицу времени по сравнению с другими насекомыми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pauly D., Zeller D. Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture // Marine Policy. 2017. V. 77. P. 176–181.
2. Nugroho R. A., Nur F. M. Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured // IOP Conferencies Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 144. 012002. 8 p.
3. Čengić-Džomba S., Džomba E., Muratović S., Hadžić D. Using of black soldier fly (*Hermetia Illucens*) larvae meal in fish nutrition // AgriConf 2019: 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry. 2019. P. 132–140.
4. Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. Feeds for the aquaculture sector. Current Situation and Alternative Sources. Springer International Publishing, 2018. 111 p.
5. Shakil Rana K. M., Salam M. A., Hashem Sh., Ariful Islam Md. Development of black soldier fly larvae production technique as an alternate fish feed // International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture. 2015. V. 5 (1). P. 41–47.
6. Nogales-Mérida S., Gobbi P., Józefiak D., Mazurkiewicz J., Dudek K., Rawski M., Kierończyk B., Józefiak A. Insect meals in fish nutrition // Reviews in Aquaculture. 2019. V. 11. P. 1080–1103.
7. Henry M. A., Gasco L., Piccilo J., Fountoulaki E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future // Animal Feed Science and Technology. 2015. V. 203. P. 1–22.
8. Tran G., Heuze V., Makkar H. Insects in fish diets // Animal Frontiers. 2015. V. 5 (2). P. 37–44.
9. Wang Y., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food // Foods. 2017. V. 6 (10):91. 23 p.
10. Stadlander T., Stamer A., Buser A., Wohlfahrt J., Leiber F., Sandrock C. *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm // Journal of Insects as Food and Feed. 2017. V. 3 (3). P. 165–175.
11. Cardinaletti G., Randazzo B., Messina M., Zarantoniello M., Giorgini E., Zimbelli A., Bruni L., Parisi G., Olivotto I., Tulli F. Effects of graded dietary inclusion level of full-fat *Hermetia illucens* prepupae meal in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Animals. 2019. V. 9. N. 251. 19 p.
12. Bruni L., Pastorelli R., Viti C., Gasco L. Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source // Aquaculture. 2018. V. 487. P. 56–63.
13. Renna M., Schiavone A., Gai F., Dabbou S., Lussiana C., Malfatto V., Prearo M., Capucchio M. T., Biasato I., Biasibetti E., De Marco M., Brugiapaglia A., Zoccarato I. Gasco L. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2017. V. 8 (57). 13 p.
14. Elia A. C., Capucchio M. T., Caldaroni B., Magara G. Influence of *Hermetia illucens* meal dietary inclusion on the histological traits, gut mucin composition and the oxidative stress biomarkers in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquaculture. 2018. V. 496. P. 50–57.
15. Mancini S., Medina I., Iaconisi V., Gai F., Basto A., Parisi G. Impact of black soldier fly larvae meal on the chemical and nutritional characteristics of rainbow trout fillets // Animal. 2018. V. 12 (8). P. 1672–1681.
16. Secci G., Mancini S., Iaconisi V., Gasco L., Basto A., Parisi G. Can the inclusion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) in diet affect the flesh quality/nutritional traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after freezing and cooking? // International Journal of Food Science and Nutrition. 2019. V. 70 (2). P. 161–171.
17. St-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J. K., Irving S., Newton L., McGuire M. A., Mosley E. E., Hardy R. W., Sealey W. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // Journal of the World Aquaculture Societe. 2007. V. 38 (1). P. 59–67.

18. Sealey W. M., Gaylord T. G., Barrows F. T., Tomberlin J. K., McGuire M. A., Ross C., St-Hilare S. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched Black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens* // Journal of the World Aquaculture Societe. 2011. V. 42 (1). P. 34–45.
19. Józefiak Agata., Nogales-Mérida S., Mikołajczak Z., Rawski M., Kierończyk B., Mazurkiewicz J. The utilization of full-fat insect meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) nutrition: the effects on growth performance, intestinal microbiota and gastrointestinal tract histomorphology // Annals of Animal Science. 2019. V. 19 (3). P. 747–765.
20. Huyben D., Vidakovic A., hallgren S. W., Langeland M. High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*) // Aquaculture. 2019. V. 500. P. 485–491.
21. Rimoldi S., Gini E., Iannini F., Gasco L., Terova G. The effects of dietary insect meal from *Hermetia illucens* prepupae on autochthonous gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Animals. 2019. V. 9 (14). P. 143.
22. Terova G., Ascione C., Rimoldi S., Gini E. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet // Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2019. V. 29. P. 465–486.
23. Rumpold B. A., Speckmann H., Schlüter O., Kloas W., Prochnow A. Potentials of a biogenic residue-based production of *Hermetia illucens* as fish meal replacement in aquafeed for *Oncorhynchus mykiss* in Germany // Journal of Insects as Food and Feed. 2018. V. 4 (1). P. 5–18.
24. Basto A. Effect of dietary partial replacement of fishmeal by prepupae meal of black soldier fly *Hermetia illucens* in final quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* flesh // Aquaculture Europe 2015: European Aquaculture Society Meeting Abstract. Netherlands, Rotterdam, 2016. 3 p.
25. Ribeiro N., Abelho M., Costa R. A Review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) // Journal of Entomological Science. 2018. V. 53 (4). P. 434–454.
26. Morales-Ramos J. A., Kelstrup H. C., Rojas M. G., Emery V. Body mass increase induced by eight years of artificial selection in the yellow mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) and life history trade-offs // Journal of Insect Science. 2019. V. 19 (2). P. 1–9.
27. Ruschioni S., Loreto N., Foligni R., Mannozi C., Raffaelli N., Zamporlini F., Pasquini M., Roncolini A., Carinali F., Osimani A., Aquilanti L., Isidoro N., Riolo P., Mozzon M. Addition of olive pomace to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae // Foods. 2020. V. 9 (3). P. 317.
28. Siemianowska E., Kosewska A., Aljewicz M., Skibniewska K. A. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food // Agricultural Sciences. 2013. V. 4 (6). P. 287–291.
29. Azagoh C., Ducept F., Garcia R., Rakotozafy L., Cuvelier M-E., Keller S., Lewandowski R., Mezdour S. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins // Food Research International. 2016. V. 88. Part A. P. 24–31.
30. Altamirano A. P. Valoracion nutricional de harinas de cucaracha de Madagascar *Gromphadornia partentosa* y tenebrios (*Tenebrio volitor*) para su uso en acuicultura. Tesis para obtener el titulo de maestro en ciencias con opcion a agronomicas. Mexico: Universidad autonoma de Aguascalientes, 2019. 72 p.
31. Altamirano A. P., Garcia-Munguia A. M., Ferro W. K. G. Análisis nutricional y aminoácidos de harinas de *Tenebrio molitor* y *Gromphadorhina portentosa* // Southwestern Entomologist. 2019. N. 44 (4). P. 963–971.
32. Belforti M., Gai F., Lussiana C., Renna M., Malfatto V., Rotolio L. et al. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets // Italian Journal of Animal Science. 2015. V. 14 (4). 4170. P. 670–676.
33. Gasco L., Belforti M., Rotolio L., Lussiana C. et al. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Abstract book Conference «Insects to feed the World». The Netherlands, 2014. P. 69.
34. Laconisi V. et al. Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: body and fillet quality traits // Aquaculture. 2018. V. 484. P. 197–204.
35. Laconisi V. et al. Effect of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal on amino acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fillets // Aquaculture. 2019. V. 513. 734403.
36. Rema P., Saravanan S., Armenjon B., Motte C., Dias J. Graded incorporation of Defatted Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet improves growth performance and nutrient retention // Animals. 2019. V. 9. 187. 10 p.
37. Chemello G., Renna M., Caimi Ch., Guerreiro I., Oliva-Teles A., Enes P., Biasato I., Schiavone A., Gai F., Gasco L. Partially defatted *Tenebrio molitor* larva meal in diets for grow-out rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): effects on growth performance, diet digestibility and metabolic responses // Animals. 2020. V. 10 (2). 229. 15 p.

38. Antonopoulou E., Nikouli E., Piccolo G., Gasco L., Gai F., Chatzifotis S., Mente E., Kormas K. Reshaping gut bacterial communities after dietary *Tenebrio molitor* larvae meal supplementation in three fish species // Aquaculture. 2019. V. 503. P. 628–635.
39. Henry M. A., Gai F., Enes P., Perez-Jimenez A., Gasco L. Effect of partial dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae meal on the innate immune response and intestinal antioxidant enzymes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Fish & Shellfish Immunology. 2018. V. 83. P. 308–313.
40. Vrabec V., Kulma M., Cocan D. Insects as an alternative protein source for animal feeding: A short review about chemical composition // Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies. 2015. V. 72 (2). P. 116–126.
41. Khan B. A., Al-Ani L. M., Beck R., Goonewardene L. A., Hirsche W., Suleiman A. Development and feeding value of new protein meals from insect larvae and pupae for aquaculture fish, Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (wallbaum) // 3rd Scientific Conference - College of Veterinary Medicine - University of Tikrit 2, 3 May 2016. Irane, 2016. P. 42–47.
42. St-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J. K., Irving S., Newton L., McGuire M. A., Mosley E. E., Hardy R. W., Sealey W. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* // Journal of the World Aquaculture Society. 2007. V. 38 (1). P. 59–67.
43. Karthick R. P. et al. Silkworm pupae meal as alternative source of protein in fish feed // Journal of Entomology and Zoology Studies. 2019. V. 7 (4). P. 78–85.
44. Chieco C., Morrone L., Bertazza G., Cappellozza S., Saviane A., Gai F., Di Virgilio N., Rossi F. The effect of strain and rearing medium on the chemical composition, fatty acid profile and carotenoid content in silkworm (*Bombyx mori*) pupae // Animals. 2019. V. 9 (3): 103. 13 p.
45. Shakoori M., Gholipour H., Naseri S. Effect of replacing dietary fish meal with silkworm (*Bombyx mori*) pupae on hematological parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // Comparative Clinical Pathology. 2015. V. 24 (1). P. 139–143.
46. Shakoori M., Gholipour H., Naseri S., Khara H. Growth, survival, and body composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, when dietary fish meal is replaced with silkworm (*Bombyx mori*) pupae // Archives of Polish Fisheries. 2016. V. 24 (1). P. 53–57.
47. Watanabe T., Takeuchi T., Satoh Sh., Kiron V. Digestible crude protein contents in various feedstuffs determined with four freshwater fish species // Fisheries Science. 1996. V. 62 (2). P. 278–282.
48. Tureket J., Sampels S., Tilami S. Kh., Cervený D. Insects in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on growth, fatty acid composition and sensory attributes // Factors influencing nutritional value of fish - theses. Czech Republic, Vodňany, 2019. P. 81–100.
49. Józefiak A., Nogales-Mérida S., Mikołajczak, Rawski M., Kierończyk, Mazurkiewicz J. The utilization of full-fat insect meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) nutrition: the effects on growth performance, intestinal microbiota and gastrointestinal tract histomorphology // Annals of Animal Science. 2019. V. 19 (3). P. 747–765.

Статья поступила в редакцию 14.05.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шайхиев Ильдар Гильманович – Россия, 420015, Казань; Казанский национальный исследовательский технологический университет; д-р техн. наук, доцент; зав. кафедрой инженерной экологии; ildars@inbox.ru.

Свергузова Светлана Васильевна – Россия, 308012, Белгород; Белгородский государственный технический университет им. В. Г. Шухова; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой промышленной экологии; re@intbel.ru.

Сапронова Жанна Ануаровна – Россия, 308012, Белгород; Белгородский государственный технический университет им. В. Г. Шухова; д-р техн. наук, доцент; профессор кафедры промышленной экологии; re@intbel.ru.

Святченко Анастасия Владимировна – Россия, 308012, Белгород; Белгородский государственный технический университет им. В. Г. Шухова; старший преподаватель кафедры промышленной экологии; sv.anastasia@mail.ru.

Ушакова Нина Александровна – Россия, 119071, Москва; Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук; д-р техн. наук; зав. лабораторией инновационных технологий; naushakova@gmail.com.



USING INSECT BIOMASS FOR RAINBOW TROUT CULTIVATION IN AQUACULTURE (FOREIGN LITERATURE REVIEW)

I. G. Shaikhiev¹, S. V. Sverguzova², Zh. A. Sapronova², A. V. Svyatchenko², N. A. Ushakova³

¹ Kazan National Research Technological University,
Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

² Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov,
Belgorod, Russian Federation

³ Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

Abstract. The article focuses on the data from foreign literature on growing rainbow trout or mykiss (*Oncorhynchus mykiss*) with the inclusion of dried and / or fat-free insect biomass in diets. The following seven types of insects could be recommended for inclusion in the diet of rainbow trout and other fish species: larvae and / or pupae of diptera fly (*Hermetia illucens*), housefly (*Musca domestica*), flour worm larva (*Tenebrio molitor*), locusts and grasshoppers (*Acrididae*), crickets (*Gryllidae*) and cathidids (*Tettigoniidae*), silkworm pupae (*Bombyx mori*). The brief data on physiology and life cycle of these insects are given, as well as the data on proteins and fatty acids concentration in fresh and dry larvae of insects. It has been shown that the flour from dried insect biomass contains a large amount of amino acids and fatty acids. There has been given the data on the influence of flour from insect larvae on the mass increase of rainbow trout juveniles and adults, digestibility of feed dry matter, organoleptic characteristics of fish fillets, amino acid and fatty acid composition, and other indicators. It has been found out that in most cases the survival rate is significantly higher in the experimental groups of *Oncorhynchus mykiss* juveniles fed a diet containing insect flour. It has been inferred that including flour from insect biomass in certain proportions has a positive effect on the growth and life of *Oncorhynchus mykiss* species. The most promising is adding *Hermetia illucens* larvae flour in the diet of rainbow trout in aquaculture, because *Hermetia illucens* larvae have the highest biomass yield per unit time compared to other insects.

Key words: aquaculture, *Oncorhynchus mykiss*, rainbow trout, diet, insect larvae flour.

For citation: Shaikhiev I. G., Sverguzova S. V., Sapronova Zh. A., Svyatchenko A. V., Ushakova N. A. Using insect biomass for rainbow trout cultivation in aquaculture (foreign literature review). *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2021;1:69-81. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81.

REFERENCES

1. Pauly D., Zeller D. Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture. *Marine Policy*, 2017, vol. 77, pp. 176-181.
2. Nugroho R. A., Nur F. M. Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured. *IOP Conferencies Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 144, 012002, 8 p.
3. Čengić-Džomba S., Džomba E., Muratović S., Hadžić D. Using of black soldier fly (*Hermetia Illucens*) larvae meal in fish nutrition. *AgriConf 2019: 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry*, 2019. Pp. 132-140.
4. Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. *Feeds for the aquaculture sector. Current Situation and Alternative Sources*. Springer International Publishing, 2018. 111 p.
5. Shakil Rana K. M., Salam M. A., Hashem Sh., Ariful Islam Md. Development of black soldier fly larvae production technique as an alternate fish feed. *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 2015, vol. 5 (1), pp. 41-47.

6. Nogales-Mérida S., Gobbi P., Józefiak D., Mazurkiewicz J., Dudek K., Rawski M., Kierończyk B., Józefiak A. Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 2019, vol. 11, pp. 1080-1103.
7. Henry M. A., Gasco L., Piccilo J., 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.
8. Tran G., Heuze V., Makkar H. Insects in fish diets. *Animal Frontiers*, 2015, vol. 5 (2), pp. 37-44.
9. Wang Y., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 2017, vol. 6 (10):91, 23 p.
10. Stadlander T., Stamer A., Buser A., Wohlfahrt J., Leiber F., Sandrock C. *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2017, vol. 3 (3), pp. 165-175.
11. Cardinaletti G., Randazzo B., Messina M., Zarantoniello M., Giorgini E., Zimbelli A., Bruni L., Parisi G., Olivotto I., Tulli F. Effects of graded dietary inclusion level of full-fat *Hermetia illucens* prepupae meal in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 2019, vol. 9, no. 251, 19 p.
12. Bruni L., Pastorelli R., Viti C., Gasco L. Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source. *Aquaculture*, 2018, vol. 487, pp. 56-63.
13. Renna M., Schiavone A., Gai F., Dabbou S., Lussiana C., Malfatto V., Prearo M., Capucchio M. T., Biasato I., Biasibetti E., De Marco M., Brugiapaglia A., Zoccarato I. Gasco L. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, vol. 8, 57, 13 p.
14. Elia A. C., Capucchio M. T., Caldaroni B., Magara G. Influence of *Hermetia illucens* meal dietary inclusion on the histological traits, gut mucin composition and the oxidative stress biomarkers in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 2018, vol. 496, pp. 50-57.
15. Mancini S., Medina I., Iaconisi V., Gai F., Basto A., Parisi G. Impact of black soldier fly larvae meal on the chemical and nutritional characteristics of rainbow trout filets. *Animal*, 2018, vol. 12 (8), pp. 1672-1681.
16. Secci G., Mancini S., Iaconisi V., Gasco L., Basto A., Parisi G. Can the inclusion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) in diet affect the flesh quality/nutritional traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after freezing and cooking? *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2019, vol. 70 (2), pp. 161-171.
17. St-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J. K., Irving S., Newton L., McGuire M. A., Mosley E. E., Hardy R. W., Sealey W. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2007, vol. 38 (1), pp. 59-67.
18. Sealey W. M., Gaylord T. G., Barrows F. T., Tomberlin J. K., McGuire M. A., Ross C., St-Hilare S. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched Black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2011, vol. 42 (1), pp. 34-45.
19. Józefiak Agata., Nogales-Mérida S., Mikołajczak Z., Rawski M., Kierończyk B., Mazurkiewicz J. The utilization of full-fat insect meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) nutrition: the effects on growth performance, intestinal microbiota and gastrointestinal tract histomorphology. *Annals of Animal Science*, 2019, vol. 19 (3), pp. 747-765.
20. Huyben D., Vidakovic A., hallgren S. W., Langeland M. High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Aquaculture*, 2019, vol. 500, pp. 485-491.
21. Rimoldi S., Gini E., Iannini F., Gasco L., Terova G. The effects of dietary insect meal from *Hermetia illucens* prepupae on autochthonous gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 2019, vol. 9 (14), p. 143.
22. Terova G., Ascione C., Rimoldi S., Gini E. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2019, vol. 29, pp. 465-486.
23. Rumpold B. A., Speckmann H., Schlüter O., Kloas W., Prochnow A. Potentials of a biogenic residue-based production of *Hermetia illucens* as fish meal replacement in aquafeed for *Oncorhynchus mykiss* in Germany. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2018, vol. 4 (1), pp. 5-18.
24. Basto A. Effect of dietary partial replacement of fishmeal by prepupae meal of black soldier fly *Hermetia illucens* in final quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* flesh. *Aquaculture Europe 2015: European Aquaculture Society Meeting Abstract*. Netherlands, Rotterdam, 2016. 3 p.
25. Ribeiro N., Abelho M., Costa R. A Review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, 2018, vol. 53 (4), pp. 434-454.
26. Morales-Ramos J. A., Kelstrup H. C., Rojas M. G., Emery V. Body mass increase induced by eight years of artificial selection in the yellow mealworm (Coleoptera: Tenebrionidae) and life history trade-offs. *Journal of Insect Science*, 2019, vol. 19 (2), pp. 1-9.
27. Ruschioni S., Loreto N., Foligni R., Mannozi C., Raffaelli N., Zamporlini F., Pasquini M., Roncolini A., Carinali F., Osimani A., Aquilanti L., Isidoro N., Riolo P., Mozzon M. Addition of olive pomace to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae. *Foods*, 2020, vol. 9 (3), p. 317.

28. Siemianowska E., Kosewska A., Aljewicz M., Skibniewska K. A. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences*, 2013, vol. 4 (6), pp. 287-291.
29. Azagoh C., Ducept F., Garcia R., Rakotozafy L., Cuvelier M-E., Keller S., Lewandowski R., Mezdour S. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. *Food Research International*, 2016, vol. 88, part A, pp. 24-31.
30. Altamirano A. P. *Valoracion nutricional de harinas de cucaracha de Madagascar Gromphadornia partentosa y tenebrios (Tenebrio volitor) para su uso en acuicultura*. Tesis para obtener el titulo de maestro en ciencias con opcion a agronomicas. Mexico, Universidad autonoma de Aguascalientes, 2019. 72 p.
31. Altamirano A. P., Garcia-Munguia A. M., Ferro W. K. G. Análisis nutricional y aminoácidos de harinas de *Tenebrio molitor* y *Gromphadorhina portentosa*. *Southwestern Entomologist*, 2019, no. 44 (4), pp. 963-971.
32. Belforti M., Gai F., Lussiana C., Renna M., Malfatto V., Rotolio L. et al. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 2015, vol. 14 (4), pp. 670-676.
33. Gasco L., Belforti M., Rotolio L., Lussiana C. et al. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Abstract book Conference «Insects to feed the World»*. The Netherlands, 2014. P. 69.
34. Laconisi V. et al. Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: body and fillet quality traits. *Aquaculture*, 2018, vol. 484, pp. 197-204.
35. Laconisi V. et al. Effect of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal on amino acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fillets. *Aquaculture*, 2019, vol. 513, pp. 734-740.
36. Rema P., Saravanan S., Armenjon B., Motte C., Dias J. Graded incorporation of Defatted Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet improves growth performance and nutrient retention. *Animals*, 2019, vol. 9, pp. 187, 10 p.
37. Chemello G., Renna M., Caimi Ch., Guerreiro I., Oliva-Teles A., Enes P., Biasato I., Schiavone A., Gai F., Gasco L. Partially defatted *Tenebrio molitor* larva meal in diets for grow-out rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): effects on growth performance, diet digestibility and metabolic responses. *Animals*, 2020, vol. 10 (2), pp. 229, 15 p.
38. Antonopoulou E., Nikouli E., Piccolo G., Gasco L., Gai F., Chatzifotis S., Mente E., Kormas K. Reshaping gut bacterial communities after dietary *Tenebrio molitor* larvae meal supplementation in three fish species. *Aquaculture*, 2019, vol. 503, pp. 628-635.
39. Henry M. A., Gai F., Enes P., Perez-Jimenez A., Gasco L. Effect of partial dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae meal on the innate immune response and intestinal antioxidant enzymes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, vol. 83, pp. 308-313.
40. Vrabec V., Kulma M., Cocan D. Insects as an alternative protein source for animal feeding: A short review about chemical composition. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 2015, vol. 72 (2), pp. 116-126.
41. Khan B. A., Al-Ani L. M., Beck R., Goonewardene L. A., Hirsche W., Suleiman A. Development and feeding value of new protein meals from insect larvae and pupae for aquaculture fish, Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *3rd Scientific Conference - College of Veterinary Medicine - University of Tikrit 2, 3 May 2016*. Irane, 2016. Pp. 42-47.
42. St-Hilaire S., Sheppard C., Tomberlin J. K., Irving S., Newton L., McGuire M. A., Mosley E. E., Hardy R. W., Sealey W. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2007, vol. 38 (1), pp. 59-67.
43. Karthick R. P. et al. Silkworm pupae meal as alternative source of protein in fish feed. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2019, vol. 7 (4), pp. 78-85.
44. Chieco C., Morrone L., Bertazza G., Cappellozza S., Saviane A., Gai F., Di Virjilio N., Rossi F. The effect of strain and rearing medium on the chemical composition, fatty acid profile and carotenoid content in silkworm (*Bombyx mori*) pupae. *Animals*, 2019, vol. 9 (3): 103, 13 p.
45. Shakoori M., Gholipour H., Naseri S. Effect of replacing dietary fish meal with silkworm (*Bombyx mori*) pupae on hematological parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Clinical Pathology*, 2015, vol. 24 (1), pp. 139-143.
46. Shakoori M., Gholipour H., Naseri S., Khara H. Growth, survival, and body composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, when dietary fish meal is replaced with silkworm (*Bombyx mori*) pupae. *Archives of Polish Fisheries*, 2016, vol. 24 (1), pp. 53-57.
47. Watanabe T., Takeuchi T., Satoh Sh., Kiron V. Digestible crude protein contents in various feedstuffs determined with four freshwater fish species. *Fisheries Science*, 1996, vol. 62 (2), pp. 278-282.
48. Tureket J., Sampels S., Tilami S. Kh., Cervený D. Insects in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on growth, fatty acid composition and sensory attributes. *Factors influencing nutritional value of fish -theses*. Czech Republic, Vodňany, 2019. Pp. 81-100.

49. Józefiak A., Nogales-Mérida S., Mikołajczak, Rawski M., Kierończyk, Mazurkiewicz J. The utilization of full-fat insect meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) nutrition: the effects on growth performance, intestinal microbiota and gastrointestinal tract histomorphology. *Annals of Animal Science*, 2019, vol. 19 (3), pp. 747-765.

The article submitted to the editors 14.05.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shaikhiev Il'dar Gil'manovich – Russia, 420015, Kazan; Kazan National Research Technological University; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Environmental Engineering; ildars@inbox.ru.

Svergzova Svetlana Vasil'evna – Russia, 308012, Belgorod; Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Industrial Ecology; pe@intbel.ru.

Sapronova Zhanna Anuarovna – Russia, 308012, Belgorod; Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Industrial Ecology; pe@intbel.ru.

Svyatchenko Anastasia Vladimirovna – Russia, 308012, Belgorod; Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; Senior Lecturer of the Department of Industrial Ecology; sv.anastasiaa@mail.ru.

Ushakova Nina Aleksandrovna – Russia, 119071, Moscow; Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences; Doctor of Technical Sciences; Head of the Laboratory of Innovative Technologies; naushakova@gmail.com.

