

Обзорная статья

УДК 639.512

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-781-806

EDN: MOFTYX



**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ
HERMETIA ILLUCENS В РАЦИОНАХ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
БЕЛОНОГИХ КРЕВЕТОК *LITOPENAEUS VANNAMEI*
В АКВАКУЛЬТУРЕ (ОБЗОР МИРОВОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)**

И.Г. Шайхиев¹, З.Т. Санатуллова¹, К.И. Шайхиева¹, С.В. Свергузова^{2*}

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68;

² Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Аннотация. Обобщены материалы мировых литературных источников по использованию личинок мухи черная львинка *Hermetia illucens* в составе кормов для выращивания в аквакультуре белоногих креветок *Litopenaeus vannamei*. Приведены данные мирового опыта по разведению белоногих креветок в аквакультуре. Кратко изложена информация по морфологии и жизненному циклу *H. illucens*. Показано содержание белка и жирных кислот в составе нативных и обезжиренных личинок черной львинки. Выявлено, что мука из личинок черной львинки является эффективной кормовой добавкой для различных животных и рыб в аквакультуре. Описаны результаты разных литературных источников по замене рыбной муки мукой из жирных и обезжиренных личинок *H. illucens* на 5–100 % в рационах для выращивания молоди и взрослых особей креветок. Показано влияние замены рыбной муки личиночной мукой на ростовые, весовые, физиологические и морфологические показатели развития белоногих креветок. Выявлено, что наиболее оптимальным для развития креветок является замена рыбной муки мукой из креветок до 30 %. Описаны варианты использования личиночного жира, трех побочных продуктов, образующихся при производстве личинок черной львинки (экзувии, коконы, имаго), а также компоста в составе кормов для культивирования креветок.

Ключевые слова: белоногая креветка, *Litopenaeus vannamei*, личинки, муха черная львинка, *Hermetia illucens*, аквакультура, выращивание

Для цитирования: Шайхиев И.Г., Санатуллова З.Т., Шайхиева К.И., Свергузова С.В. Использование личинок черной львинки *Hermetia illucens* в рационах для культивирования белоногих креветок *Litopenaeus vannamei* в аквакультуре (обзор мировой литературы) // Изв. ТИПРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 781–806. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-781-806. EDN: MOFTYX.

* Шайхиев Ильдар Гильманович, доктор технических наук, профессор, ildars@inbox.ru, ORCID 0000-0001-9160-0412; Санатуллова Земфира Талгатовна, кандидат технических наук, доцент, zemka511@yandex.ru, ORCID 0009-0005-1620-3616; Шайхиева Карина Ильдаровна, кандидат технических наук, доцент, shaykhievak@gmail.com, ORCID 0000-0003-1188-7885; Свергузова Светлана Васильевна, доктор технических наук, профессор, pe@bstu.ru, ORCID 0000-0002-3845-8741.

Use of black soldier fly *Hermetia illucens* larvae in diets for cultivation of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* in aquaculture (world-wide literature review)

Ildar G. Shaikhiev*, Zemfira T. Sanatullova, Karina I. Shaikhieva***, Svetlana V. Sverguзова******

*—**** Kazan National Research Technological University, 68, Karl Marx Str., 420015, Kazan, Russia

**** Belgorod State Technological University, 46, Kostyukov Str., 308012, Belgorod, Russia

* D.Tech., professor, ildars@inbox.ru, ORCID 0000-0001-9160-0412

** Ph.D., assistant professor, zemka511@yandex.ru, ORCID 0009-0005-1620-3616

*** Ph.D., assistant professor, shaykhievak@gmail.com, ORCID 0000-0003-1188-7885

**** D.Tech., professor, pe@bstu.ru, ORCID 0000-0002-3845-8741

Abstract. Cultivation of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* is overviewed, data on this species yield in the world aquaculture are presented, and information from world-wide literature sources on using the larvae of black soldier fly *Hermetia illucens* in feed rations for this shrimp species are summarized. Morphology and life cycle of *H. illucens* are considered briefly. Protein and fatty acid contents of the native and defatted larvae are investigated in details and effectiveness of insect larvae usage for feeding fish and invertebrates in aquaculture is concluded. In diets for growing and adult whiteleg shrimp, the fish meal can be replaced by the feeds produced from fatty and defatted *H. illucens* larvae in amounts from 5 to 100 % with positive effect on growth and physiological and morphological parameters of cultivated shrimps. The replacement of fish meal in 30 % is optimal for their growth and physiological development. The larval fat, three by-products of the larvae (exuviae, cocoons, imago), and compost of the wastes can be used for the shrimp feeding, as well.

Keywords: whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fly larva, black soldier fly, *Hermetia illucens*, aquaculture, rearing

For citation: Shaikhiev I.G., Sanatullova Z.T., Shaikhieva K.I., Sverguзова S.V. Use of black soldier fly *Hermetia illucens* larvae in diets for cultivation of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* in aquaculture (world-wide literature review), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 781–806. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-781-806. EDN: MOFTYX.

Введение

В настоящее время в мировом пространстве интенсивно развивается направление аквакультуры по разведению и выращиванию гидробионтов в естественных и искусственных водоемах, а также на специально созданных морских плантациях. В последние годы объем выращенных гидробионтов, в частности рыб, превысил вылов из Мирового океана: 52 % употребляемой человечеством рыбы выращено в искусственных условиях [Pauly, Zeller, 2017]. Однако в сфере искусственного воспроизводства и выращивания гидробионтов возникла серьезная проблема: существенно уменьшились объемы вырабатываемой рыбной муки (РМ) и рыбного жира (РЖ), входящих в состав различных рационов для искусственного выращивания гидробионтов. Также повсеместное развитие аквакультуры и все увеличивающийся спрос на выращиваемую рыбу привели к росту цен на РМ и РЖ, что делает процесс промышленного выращивания гидробионтов менее рентабельным.

В связи с вышеизложенным в настоящее время наметилась тенденция использования в качестве ингредиентов в рационах для выращивания некоторых видов гидробионтов биомассы различных насекомых [Nugroho, Nur, 2018]. К использованию в качестве добавок в кормовые смеси для выращивания животных, птиц, рыб и других гидробионтов 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, а также куколки тутового шелкопряда *Bombyx mori* [Tran et al., 2015].

Особый интерес представляют личинки и куколки мухи *H. illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). За рубежом муха носит название черный солдатик, в России — черная львинка. *H. illucens* — крупная муха из семейства львинковых *Stratiomyia chamaeleon*, в естественных условиях распространена в тропических и субтропических зонах планеты. Тело взрослых насекомых черного цвета, голени и лапки — белого (рис. 1, а). В настоящее время личинки черной львинки выращиваются в искусственных условиях в большом количестве за рубежом. Данное направление развивается и в Российской Федерации.



Рис. 1. *Hermetia illucens*: а — имаго, б — личинка

Fig. 1. *Hermetia illucens*: а — imago, б — larva

Цель обзора — обобщить данные различных литературных источников по использованию биомассы личинок черной львинки в рационах кормов для выращивания белоногих креветок в аквакультуре и выявить влияние на рост и биологические показатели последних.

Использованы материалы литературных источников, опубликованных с 2002 по 2025 г. Обзорных работ по названной тематике в мировой литературе не выявлено.

Общие данные о черной львинке *H. illucens*

Жизненный цикл *H. illucens* включает несколько фаз развития [Singh, Kumari, 2019]. После вылупления из куколок взрослые особи спариваются на третий день жизни, и уже через несколько дней самка насекомого откладывает до 1000 яиц во влажную питательную среду, в качестве которой можно использовать различные органические субстраты, например навоз сельскохозяйственных животных [Li et al., 2011; Oonincx et al., 2015; Pastor et al., 2015; Julita et al., 2018; Liu et al., 2022; Grassauer et al., 2023], куриный помет [Boaru et al., 2018; Xiao et al., 2018; Свергузова и др., 2021а], пищевые [Zheng et al., 2012; Parra Paz et al., 2015; Ritika et al., 2015; Шайхиев и др., 2020а], сельскохозяйственные отходы [Jucker et al., 2017; Isibika et al., 2019; Amrul et al., 2022; Hidayat et al., 2024] и др. Через несколько дней из яиц вылупляются личинки размерами до 5 мм, которые развиваются в течение 14–20 дней.

За этот отрезок времени личинки *H. illucens* усиленно усваивают органический субстрат, увеличиваясь в размерах вплоть до 30 мм в длину, 6 мм в ширину с соответствующим ростом биомассы. Многочисленными исследованиями выявлено, что личинки черной львинки могут перерабатывать более 40 % органического субстрата, превращая его в ценный компост [Da Silva, Hesselberg, 2020; Veldkamp et al., 2021]. Когда личинки насекомого достигают финальной стадии развития, они превращаются в предкуколок с последующим окукливанием и превращением в куколки, из которых впоследствии выводятся взрослые особи (имаго), и жизненный цикл повторяется. Отличительной чертой личинок *H. illucens* является их состав, включающий большое количество сырого белка (30–45 %), жирных кислот (13–45 %) и хитина (до 5 %). На предприятиях по выращиванию личинок черной львинки последних отделяют от субстрата, высушивают и далее используют в составе кормов или же выдавливают

жидкое содержимое и обезжиренный остаток также применяют в различных рационах. Указывается, что содержание сырого белка и жирных кислот в личинках составило соответственно 30,72 и 36,20 г/100 г сухой массы личинок, после обезжиривания — 47,70 и 8,11 г/100 г сухой массы личинок [Saputra et al., 2023]. Аминокислотный состав нативных и обезжиренных личинок насекомого приведен в табл. 1.

Таблица 1
Аминокислотный состав нативных и обезжиренных личинок *H. illucens* [Saputra et al., 2023],
г/100 г сухой массы

Table 1
Amino acid composition for native and defatted larvae of *H. illucens* [Saputra et al., 2023],
g/100 g dry weight

| Аминокислота | Нативные личинки | Обезжиренные личинки |
|--------------|------------------|----------------------|
| Аланин | 1,28 | 0,72 |
| Аргинин | 1,23 | 0,70 |
| Аспаргат | 2,35 | 1,84 |
| Глицин | 1,85 | 0,84 |
| Гистидин | 0,43 | 0,72 |
| Глутамин | 3,21 | 3,12 |
| Серин | 1,65 | 0,71 |
| Треонин | 0,77 | 0,82 |
| Пролин | 1,82 | 0,84 |
| Тирозин | 0,78 | 0,71 |
| Валин | 1,27 | 0,61 |
| Метионин | 0,61 | 0,52 |
| Цистеин | 0,74 | 0,61 |
| Лейцин | 2,13 | 1,30 |
| Изолейцин | 1,18 | 0,88 |
| Фенилаланин | 0,88 | 0,69 |
| Лизин | 2,16 | 1,26 |

Следует отметить, что аминокислотный состав личинок *H. illucens* зависит от многих параметров, таких как состав субстрата, на котором они выращиваются, температура, время развития и др., и может варьировать в широких пределах. Так, в обзоре Saputra с соавторами [2023] по данным различных источников указывается, что содержание, в частности, аминокислот, составляет (г/100 г сухого вещества личинки насекомого): аргинин — 1,0–5,4, гистидин — 0,8–3,2, изолейцин — 0,6–4,9, лейцин — 1,4–7,8, лизин — 0,8–6,8, метионин — 0,6–8,7, фенилаланин — 0,7–7,7, тирозин — 1,1–4,6, треонин — 0,7–3,1 и валин — 0,5–6,7.

Содержание некоторых жирных кислот по данным Saputra с соавторами [2023] в нативных и обезжиренных личинках *H. illucens* приведено в табл. 2.

При этом содержание жирных кислот также колеблется в широких пределах в зависимости от параметров выращивания личинок *H. illucens* (г/100 г сухого вещества личинки): лауриновая (C12:0) — 14,7–57,3, миристиновая (C14:0) — 3,1–39,9, пальмитиновая — 5,3–20,6, пальмитолеиновая кислота (C16:1) — 1,6–6,2, стеариновая (C18:0) — 0,8–4,6, олеиновая (C18:1) — 0,6–24,0, линолевая (C18:2) — 0,1–29,6, линоленовая (C18:3) — 0,1–1,9, арахидоновая (C20:0) — 0,1–0,3 и арахидоновая (C20:2) — 0,1–0,4 [Saputra et al., 2023].

Высушенные или обезжиренные личинки черной львинки, учитывая наличие в их составе большого количества протеина и жиров, применяют в рационах кормов для выращивания свиней [Barragan-Fonseca et al., 2017; Шайхиев и др., 20206; Lu et al., 2022; Siddiqui et al., 2024; Zou et al., 2024; Mohamad et al., 2025; Oliveira et al., 2025], овец [Rahman et al., 2021; Odeon et al., 2025], кроликов [Свергузова и др., 20216], бройлеров и несушек [Barragan-Fonseca et al., 2017; Abd El-Hack et al., 2020; Sverguzova et al., 2021; Lu et al., 2022; Ahmed et al., 2023; Dalmoro et al., 2023; Siddiqui et al., 2024] и других

Таблица 2

Содержание некоторых жирных кислот в нативных и обезжиренных личинках *H. illucens* [Saputra et al., 2023], г/100 г сухой массы

Table 2

Content of some fatty acids in native and defatted larvae of *H. illucens* [Saputra et al., 2023], g/100 g dry weight

| Кислота | Нативные личинки | Обезжиренные личинки |
|---------------|------------------|----------------------|
| Лауриновая | 7,21 | 1,23 |
| Миристиновая | 10,23 | 7,52 |
| Пальмитиновая | 26,45 | 15,2 |
| Стеариновая | 4,12 | 1,85 |
| Арахидовая | 0,23 | — |
| Олеиновая | 23,45 | 17,12 |
| Линолевая | 34,32 | 26,10 |
| Линоленовая | 2,12 | 1,05 |

птиц [Свергузова и др., 2021в]. По данным Oliveira с соавторами [2025], примерно 50 % выращенных личинок *H. illucens* используются в аквакультуре для выращивания рыб различных видов [Wang, Shelomi, 2017; Шайхиев и др., 2020в, 2021а, б; Свергузова и др., 2021г; Nairuti et al., 2021; Mohan et al., 2022; Shah, Çetingül, 2022; Raghuvaram et al., 2024], таких как форель радужная *Oncorhynchus mykiss* [Свергузова и др., 2021а], осетр сибирский *Acipenser baerii* [Свергузова и др., 2021д], лосось атлантический *Salmo salar* [Leeper et al., 2022], тилапия различных видов [Ушакова и др., 2018; Шайхиев и др., 2021б], лаврак обыкновенный *Dicentrarchus labrax* [Свергузова и др., 2021г], молодь барамунди *Lates calcarifer* [Liu et al., 2024], сом африканский *Clarias gariepinus* [Fawole et al., 2020], сом канальный *Ictalurus punctatus* [De Farias et al., 2025], сом желтый *Pelteobagrus fulvidraco* [Xiao et al., 2018] и др.

Использование личинок *H. illucens* для выращивания белоногих креветок в аквакультуре

Одним из видов гидробионтов, которых также выращивают в настоящее время в условиях аквакультуры, является белоногая креветка *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), известная как тихоокеанская белая креветка, или королевская креветка, или белая креветка (рис. 2).

Рис. 2. *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)

Fig. 2. *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)



Она обитает в восточной части Тихого океана, от мексиканского штата Сонора до северного Перу. Креветки вырастают до максимальной длины 230 мм, длина панциря при этом составляет 90 мм [Ковачева и др., 2018]. Взрослые особи живут в океане, на глубине до 72 м, в то время как молодые особи обитают в эстуариях. Рострум умеренно длинный, с 7–10 зубцами на дорсальной стороне и двумя-четырьмя зубцами на вентральной стороне. Это эвригалинный вид тропических креветок, способный расти при солёности от 0 до 40 ‰, при этом оптимальная солёность для роста — от 15 до 25 ‰. Оптимальный pH для белоногих креветок составляет 7,56, а уровень растворённого кислорода должен поддерживаться выше 2,80 мг О/дм³. Особи *L. vannamei* могут расти при температуре воды от 15 до 38 °С, при этом оптимальная для роста составляет от 22 до 35 °С; зона обитания ограничена районами, где температура воды остается выше 20 °С в течение всего года [Ковачева и др., 2018].

В 2022 г. на долю выращиваемых в аквакультуре креветок приходилось 63 % от общего объема производства последних в мире. В этом же году мировое производство *L. vannamei* в аквакультуре составило примерно 7000 тыс. т [N'Souvi et al., 2024], мировой рынок креветок оценивался приблизительно в 46,0 млрд долл. США, и ожидается, что к 2028 г. он составит 69,35 млрд долл. США [Alam, 2024]. Лидирующее место по производству белоногих креветок занимает Китай. Также крупнейшими производителями этого вида креветок являются Индия, Индонезия, Эквадор, Вьетнам и Мексика. Перспективы выращивания *L. vannamei* в России изложены в работе Н.П. Ковачевой с соавторами [2018].

Выращивание белоногих креветок в аквакультуре производится с использованием различных рационов, содержащих в своем составе РМ, соевый шрот в сочетании с куриными субпродуктами, сухую барду с растворимыми веществами, гороховой [Sookying, Davis, 2011], кукурузной [Amaya et al., 2007] или пшеничной [Tacon et al., 2002] мукой. Используются также мука из кальмаров, РЖ, пивные дрожжи, соевый лецитин, крахмал [Lee, Lee, 2018], премиксы, витамины, натриевые и кальциевые соли фосфатов [Tacon et al., 2002] и ряд других компонентов.

В связи с дефицитом РМ, РЖ и других компонентов кормов, как отмечалось выше, наметилась тенденция замены последних в рационах для выращивания белоногих креветок альтернативным сырьем животного происхождения [Shin, Lee, 2021; Porto-Fragozo, Rodríguez-Forero, 2023; Röthig et al., 2023; Chen et al., 2024; Rajalakshmi et al., 2024, 2025; Candela-Maldonado et al., 2025]. Большое количество исследований посвящено замене РМ в рационах для выращивания *L. vannamei* в аквакультуре мукой из нативных и обезжиренных личинок *H. illucens* [Cummins et al., 2017; Herawati et al., 2019, 2023; Chen et al., 2021, 2022, 2023a, b; Usman et al., 2021; Wang et al., 2021; He et al., 2022a, b, 2024; Li et al., 2022, 2023; Yildirim-Aksoy et al., 2022; Nunes et al., 2023; Fricke et al., 2024; Herawati et al., 2024; Keetanon et al., 2024; Novriadi et al., 2024; Rizal et al., 2024; Zheng et al., 2024; Barth et al., 2025; Chang et al., 2025; Ko et al., 2025; Ling et al., 2025; Stadlander et al., 2025].

Так, в работе Novriadi с соавторами [2024] оценивалась возможность включения в рацион белоногих креветок муки и жира из личинок *H. illucens*. Проводились эксперименты по измерению показателей роста и кормовой эффективности в сбалансированных изоазотистых и изолипидных (36 % белка и 6 % липидов) экспериментальных рационах, составленных из стандартных ингредиентов коммерческого происхождения. Содержание муки из личинок насекомого или жира — до 5 % каждого. Креветки с начальной средней массой 0,97 г кормились в течение 90 дней. Выявлено, что включение до 5 % как муки из личинок черной львинки, так и жира улучшало показатели в отношении скорости роста и эффективности использования корма. Общее количество гемоцитов и активность лизоцима отражали названные тенденции, демонстрируя преимущества групп экспериментальных рационов по сравнению с контрольной группой, получавшей базовое питание. Также проводился тест на заражение болезнью с использованием инфекционной модели с *Vibrio harveyi* в концентрации 10^5 КОЕ/креветку в контролируемых лабораторных условиях. Включения муки из личинок насекомого и жира увеличили выживаемость особей в экспериментальных группах с 40 до 60–80 %, усиливали иммунный ответ и улучшали гистопатологические профили тканей гепатопанкреаса у креветок [Novriadi et al., 2024].

Изучалось влияние муки из личинок *H. illucens* при замене РМ на показатели роста, выживаемость, иммунный ответ и устойчивость к инфекции *Vibrio parahaemolyticus* у белоногих креветок, питавшихся кормом с низким содержанием РМ. Были составлены четыре экспериментальных рациона: контрольный, содержащий 12 % РМ, и 2, 5, 10 % муки из личинок насекомого. Результаты экспериментов показали, что креветки, потреблявшие пищу, содержащую 5 и 10 % муки из личинок, значительно увеличили массу тела, снизили количество *Vibrio* spp. в гепатопанкреатической и кишечной тканях и улучшили иммунные параметры. Выживаемость особей во всех экспериментальных

группах после бактериального заражения составила не менее 60 %, что выше, чем в контрольной группе (50 %) [Keetanon et al., 2024]. Кроме того, выявлено, что замена РМ на 10 % мукой из личинок насекомого приводит к некоторому увеличению удельной скорости роста креветок (контроль — $9,16 \pm 0,25$ %/день; эксперимент — $9,24 \pm 0,25$ %/день). Обе группы показали очень близкие коэффициенты конверсии корма: 1,56 г корма на грамм прироста в контрольной группе и 1,52 г корма на грамм прироста в группе сравнения [Stadtlander et al., 2025].

В работе Usman с соавторами [2021] проводилась оценка влияния замены РМ в количестве 7,5–22,5 % в рационах на рост *L. vannamei*. Начальная масса молоди креветок составила $1,20 \pm 0,07$ г. В экспериментальных рационах содержание корма было 3–8 % от массы тела в день (с уменьшением по мере роста креветок) в течение 49 дней выращивания. Результаты не выявили существенной разницы между вариантами кормления по удельным темпам роста, набору массы, выживаемости, эффективности кормления и коэффициенту эффективности использования протеина.

Близкие значения замены РМ на муку из личинок черной львинки (8, 16 и 24 %) приведены в исследовании Herawati с соавторами [2019]. Молодь креветок имела несколько большую начальную массу ($2,62 \pm 0,12$ г) по сравнению с предыдущим исследованием. Выявлено, что замена РМ мукой из личинок значительно повлияла ($p < 0,05$) на относительную скорость роста, общее потребление корма, эффективность использования, коэффициент конверсии корма и коэффициент эффективности протеина креветок, но не на их жизнеспособность. Было определено, что оптимальное соотношение замены РМ мукой из личинок *H. illucens* составило 16 %, что привело к относительной скорости роста молоди креветок $7,51 \pm 0,07$ %/день, эффективности использования корма $53,97 \pm 0,82$ %, коэффициенту конверсии корма $1,85 \pm 0,03$ и эффективности использования протеина $1,52 \pm 0,02$ % [Herawati et al., 2019]. В том случае, когда взрослые особи креветок имели начальную массу 52 г, относительная скорость их роста составила 7,55 %/день, эффективность использования корма — 55,87 %, коэффициент конверсии корма — 1,35, коэффициент эффективности протеина — 1,52 и общее потребление корма — 274,10 г. Также выявлено, что замена 16 % РМ мукой из личинок насекомого привела к лучшему профилю аминокислот и жирных кислот в креветках [Herawati et al., 2019, 2024].

Оценивалось влияние муки из личинок черной львинки на показатели роста, состояние кишечника и восприимчивость к *V. parahaemolyticus* молоди *L. vannamei* (средняя начальная масса — 0,88 г). Основной рацион был составлен с содержанием 25 % РМ, которая на 10, 20 и 30 % заменена мукой из личинок. Кормили молодь креветок 4 раза в день в течение 7 нед. Результаты экспериментов выявили, что показатели роста существенно не изменились у особей, питавшихся кормом с заменой 10 и 20 % РМ, и значительно снизились у креветок, потреблявших пищу с заменой 30 % РМ по сравнению с контролем. После пробного кормления и отбора проб проводилось испытание на заражение *V. parahaemolyticus*. Исследования выявили, что выживаемость креветок, питавшихся кормом с заменой 10 % РМ, была значительно выше, чем в контроле. Результаты гистологии показали, что ширина и высота складок слизистой оболочки кишечника, а также уровни мРНК неспецифических иммунозависимых генов dorsal и relish значительно уменьшились у креветок, потреблявших пищу с заменой 20 и 30 % РМ. Уровни мРНК генов alf (антилипополисахаридного фактора), связанных с антимикробными пептидами, повышены у креветок, питавшихся рационом с заменой 10 % РМ, но снижены у креветок, которых кормили пищей с заменой 30 % РМ. Также определено, что бактериальные сообщества кишечника на уровне операционных таксономических единиц между экспериментальными группами не были существенно дифференцированы согласно анализу β -разнообразия. На уровне родов у особей из экспериментальных групп наблюдалось снижение численности *Vibrio*, *Photobacterium* и увеличение численности *Bacillus* и *Pseudoalteromonas*, что способствует улучшению кишечной микробиоты. Рекомендовано 20 % РМ в рационах для кормления креветок

заменять на муку из личинок *H. illucens* [Chen et al., 2021]. Кроме того, выявлено снижение содержания сырых липидов и общего уровня холестерина с увеличением замены количества РМ на муку из личинок насекомого. По результатам метаболомики паттерны метаболитов креветок, получавших питание по различным рационам, изменились, причем значительные изменения наблюдались в метаболитах, связанных с липидным обменом, метаболизмом глюкозы, а также циклом Кребса. Экспрессия мРНК *hk*, *pfk*, *pk*, *perck*, *ampk*, *mcd*, *cpt-1* и *scd1* в гепатопанкреасе была снижена у креветок, получавших максимальный уровень муки из личинок в экспериментах. В то же время экспрессия мРНК *fas*, *cpt-1*, *fbr* и *bpgd* в гепатопанкреасе была повышена у креветок, которых кормили пищей с заменой 20 % РМ. Исследование показывает, что данный рацион способствовал синтезу липидов и липолизу, в то время как рацион с заменой 30 % РМ ослаблял β -окисление и гликолиз, а также влиял на синтез ненасыщенных жирных кислот, что может воздействовать на показатели роста и состав тела креветок. Подтверждено, что показатели роста креветок, питавшихся по рациону с максимальной заменой РМ на муку из личинок, значительно снизились по сравнению с контролем, но не было значительной разницы в выживаемости между группами [Chen et al., 2022].

Кроме того, выявлено, что уровни триглицеридов и общего холестерина в гемолимфе, а также активность кислой и щелочной фосфатазы гепатопанкреаса были значительно ниже в группе с заменой 30 % РМ по сравнению с контролем. Активность аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы гемолимфы существенно снизилась во всех экспериментальных группах по сравнению с контрольной. Наибольшая антиоксидантная активность наблюдалась у креветок, кормившихся по рациону с заменой 20 % РМ, а активность супероксиддисмутазы в группе, питавшейся по рациону с заменой 10 % РМ, была заметно выше, чем в контроле. Активность синтазы жирных кислот в группах, питавшихся кормом с заменой 10 или 20 % РМ, была достоверно выше, чем в контроле. Активность карнитинпальмитилтрансферазы в группе, которую кормили пищей с заменой 20 % РМ, была выше, чем в трех других группах, а активность изоцитратдегидрогеназы в группе, питавшейся по рациону с заменой 30 % РМ, была выше, чем в контрольной группе. Активность липидтриглицеридлипазы гемолимфы и α -кетоглутаратдегидрогеназы во всех экспериментальных группах была выше, чем в контрольной группе. Замена 10 или 20 % РМ на муку из личинок черной львинки не оказала отрицательного влияния на рост *L. vannamei* и снизила активность глутаматтрансаминазы гемолимфы [Chen et al., 2023b].

В работе Rizal с соавторами [2024] исследовались влияние рационов на рост и продуктивность креветок, потребление корма, коэффициент конверсии корма, выживаемость, пищевой состав (приблизительный, аминокислотный профиль и профиль жирных кислот), общее количество бактерий в пищеварительном тракте креветок и общее количество гемоцитов в гемолимфе креветок. Экспериментальные рационы включали три типа: контроль; рацион с заменой 34 % РМ на муку из личинок черной львинки и рацион с добавлением 2 % жира из личинок насекомого ко второму рациону. В противовес вышесказанному установлено, что замена РМ на 34 % мукой из личинок (2-й рацион) не повлияла на показатели роста креветок, выращиваемых в креветочных прудах, по сравнению с контрольной группой. Оценка аминокислотного профиля выявила минимальные различия между группами. Тем не менее в обеих экспериментальных группах отмечено снижение концентрации ненасыщенных жирных кислот, в частности $n-3$ и $n-6$, по сравнению с контролем. В то же время третья группа имела самые высокие уровни содержания насыщенных жирных кислот и омега-9 жирных кислот.

В работе Cummins с соавторами [2017] молодь креветок со средней массой 1,24 г откармливали по шести изоазотистым (35 % сырого протеина) и изоэнергетическим (16,7 кДж энергии/г) рационам, в которые входили дифференцированные уровни муки из личинок *H. illucens* в качестве замены РМ. Контрольная диета содержала 25 % РМ и 23 % соевого шрота. Опытные рационы были составлены по принципу дозозависимой серии, в которой РМ постепенно заменялась мукой из личинок насекомого при уровнях

включения 7–36 % рациона. Продолжительность эксперимента — 63 дня. Он показал, что наибольшие значения конечной массы креветок, набора массы, удельной скорости роста и конверсии пищи получены в случае, если замена РМ мукой из личинок насекомого не превышала 25 %. Между тем максимальное содержание белка и липидов в креветках достигалось, когда включение муки из личинок составляло соответственно более 29 и 15 %.

Шесть экспериментальных рационов разработаны путем замены РМ на 10–50 % на основе коммерческого рациона креветок. Показатели роста креветок линейно снижались с увеличением уровня муки из личинок черной львинки в рационе. Согласно анализу кишечной микрофлоры небольшое количество муки из личинок насекомого увеличивает количество бактерий, которые могут способствовать утилизации углеводов, в то время как высокий уровень замены РМ в рационах может вызывать кишечные заболевания и низкий иммунный ответ кишечника. Можно сделать вывод, что содержание 60–80 г муки из личинок насекомого на 1 кг корма не оказывает неблагоприятного влияния на рост, антиоксидантную способность и кишечную флору креветок [Chen et al., 2023a].

РМ, содержание которой в рационе белоногой креветки составляло 20 %, на 25, 50 и 75 % заменялась мукой из жирных или обезжиренных личинок *H. illucens*. Отобрано 560 экз. молоди креветок с начальной массой $0,77 \pm 0,02$ г. Их кормили по одному из рационов шесть раз в день в течение 8 нед. Было выявлено, что креветки, которые питались кормом с мукой из жирных и обезжиренных личинок черной львинки, показали значительно повышенную экспрессию мРНК гена профенолоксидазы, чем креветки контрольной группы. Существенной разницы в аминокислотном составе мышц креветок среди всех групп не наблюдалось. Относительная экспрессия гена белка, связывающего инсулиноподобный фактор роста, была значительно увеличена в группах креветок, получавших пищу по рациону, содержащему замену 50 и 75 % РМ мукой из личинок насекомого. Вместе с тем активность фенолоксидазы была значительно повышена в экспериментальных группах, которые содержали на рационах с заменой 50 и 75 % РМ мукой из обезжиренных личинок *H. illucens*. Уровень лауриновой кислоты профилей жирных кислот гепатопанкреаса был значительно повышен за счет увеличения добавок муки из личинок насекомого в рацион. Уровни эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот как в мышцах, так и в гепатопанкреасе были значительно ниже по сравнению с контролем в группах креветок, получавших корм, содержащий муку из жирных личинок. Таким образом, предпочтительнее замена РМ мукой из обезжиренных личинок *H. illucens* [Ko et al., 2025].

Подтверждением вышеназванного утверждения являются данные, приведенные в работе Chang с соавторами [2025]. В данном исследовании проводился 8-недельный эксперимент по оценке влияния замены РМ на обезжиренную муку из личинок черной львинки на рост, текстуру мышц и кишечник креветок. Было составлено шесть изоазотистых и изолипидных диет с добавлением муки из обезжиренных личинок насекомого взамен РМ в количестве 15–75 % (4,12–20,61 % в составе всей диеты). Результаты экспериментов показали, что добавление до 20,61 % обезжиренной муки из личинок для замены 75 % РМ не оказало существенного влияния на показатели роста креветок. Оптимальный уровень замены РМ составляет от 15 до 30 %, что уменьшает воспаление кишечника и улучшает взаимодействие кишечной микробиоты, а также текстуру и вкус мышц, одновременно повышая иммунитет и антиоксидантную способность. Добавление более 16,48 % муки из насекомого в рацион приводит к воспалению кишечника и повреждению гепатоцеллюлярной ткани, к тому же отрицательно влияет на текстуру мышц и аминокислотный состав. Авторы рекомендуют уровень включения муки из личинок насекомого в состав рациона для питания *L. vannamei* не более 12,36 % (для замены 45 % РМ) [Chang et al., 2025].

Также проведено 56-дневное исследование для оценки влияния частичной замены РМ на муку из обезжиренных личинок на показатели роста, состав тела, удержание питательных веществ, метаболиты крови, антиоксидантный и иммунный ответ, актив-

ность пищеварительных ферментов и морфологию печени белоногих креветок. Было составлено шесть изоазотистых и изоэнергетических диет путем замены 15–80 % РМ на муку из обезжиренных личинок. Содержание сырого протеина и липидов во всем теле и мышцах у креветок снижалось по мере увеличения доли муки из обезжиренных личинок в рационах. Креветки, которых кормили кормом с максимальным содержанием муки из обезжиренных личинок, имели более низкую конечную массу тела, прирост массы тела и удельную скорость роста, а также более высокий коэффициент конверсии корма. Кроме того, у особей в этой группе наблюдался более низкий уровень общего холестерина в сыворотке, но более высокая общая антиоксидантная способность, чем у особей из других групп. Содержание малонового диальдегида в сыворотке было ниже у креветок, которых кормили пищей с заменой 60–80 % РМ, чем у креветок, которые были на рационах с содержанием до 30 % муки из обезжиренных личинок. Активность пищеварительных ферментов печени и кишечника не изменялась во всех группах креветок. Показано, что гепатоциты имеют различную степень вакуольной дегенерации, атрофию печеночных телец и звездчатую утрату просвета, как это наблюдалось у особей из групп, которых выращивали на рационах с заменой 60–80 % РМ. Результаты исследований показали, что до 60 % РМ можно заменить мукой из обезжиренных личинок *H. illucens* без какого-либо негативного влияния на показатели роста, активность иммунных ферментов, антиоксидантную активность и активность пищеварительных ферментов креветок [Wang et al., 2021].

Кроме того, до 100 % РМ, содержание которой в рационе составляло 560 г/кг, заменялось мукой из обезжиренных личинок черной львинки для выращивания молоди креветок с начальной массой 1,70 г. Креветки в экспериментальных группах, в рационах которых замена РМ была более 20 %, показали низкие значения конечной массы по сравнению с особями контрольной группы. Выявлено значительное снижение содержания сырых липидов, коллагена и аминокислот в мякоти креветок. В то же время потери при варке и размораживании были значительно увеличены, когда замена РМ составляла ≥ 40 %. При замене РМ на 60 % твердость тела, содержание терморастворимого коллагена, сила сдвига, покраснение поверхности тела и соотношение n-3/n-6 жирных кислот были значительно ниже. Содержание n-6 полиненасыщенных жирных кислот и общее содержание свободных аминокислот в теле креветок экспериментальных групп были значительно выше, чем в контроле. Следовательно, в рационе мукой из обезжиренных личинок черной львинки можно успешно заменить 20 % РМ, а более высокий уровень замены снижает показатели роста и качество мяса *L. vannamei* [Zheng et al., 2024].

В работе Nunes с соавторами [2023] изучались рост и экономические показатели выращивания постличиночной молоди креветок с начальной массой $2,7 \pm 0,2$ мг, питавшихся кормом с постепенной заменой РМ на муку из личинок *H. illucens* на 25–100 %. Молодь креветок выращивалась в течение 42 дней. Конечная выживаемость креветок ($90,5 \pm 7,6$ %), суточный прирост массы ($14,7 \pm 1,1$ мг/день) и видимое потребление корма ($0,67 \pm 0,03$ г/1 креветку) не зависели от состава рациона. Наибольший прирост (791 ± 52 и 776 ± 38 г/м³) и конечная масса тела ($621,0 \pm 7,2$ и $632,0 \pm 7,2$ мг) были достигнуты при замене РМ на муку из личинок соответственно на 50 и 75 %, а наименьший — в контроле (726 ± 34 г/м³ и $598,0 \pm 8,1$ мг). Креветки, потреблявшие пищу с заменой РМ в количестве 0 % (контроль) и 100 %, продемонстрировали наивысший коэффициент конверсии корма (соответственно $1,25 \pm 0,04$ и $1,24 \pm 0,08$) по сравнению с креветками, потреблявшими корм с заменой 50 % РМ ($1,16 \pm 0,06$).

В работе He с соавторами [2022b] оценивалось влияние кормления *L. vannamei* живыми личинками *H. illucens* в рационах с заменой до 100 % РМ. Рассматривались выживаемость, показатели роста, активность пищеварительных ферментов, гистология кишечника и активность антиоксидантных ферментов креветок. Эксперимент по культивированию длился 45 дней, и результаты показали, что масса креветок по окончании эксперимента уменьшилась при увеличении содержания личинок в рационах по

сравнению с особями, выращенными в контрольной группе. Когда уровень замены РМ личинками черной львинки был равен или превышал 75 %, выживаемость, конечная масса и прирост массы тела креветок значительно снижались. Однако гепатосоматический индекс повышался с увеличением уровня замены РМ и был намного выше в группах с максимальной заменой личинками насекомого, чем в других группах. Не наблюдалось существенных различий в активности амилазы и липазы в гепатопанкреатической ткани креветок всех групп. Но по сравнению с контрольной группой активность протеазы в гепатопанкреатической ткани креветок была существенно выше при замене до 25 % РМ. Гистологическая структура кишечника постепенно патологически изменялась, например, с увеличением доли свежих личинок в рационе разрушалась ткань. Значительное снижение высоты складок кишечника обнаружено в группе с максимальной заменой РМ, а также наблюдалось уменьшение толщины мышечной оболочки кишечника креветок во всех группах. Активность сывороточной общей синтазы оксида азота, щелочной и кислой фосфатазы значительно повышалась в группе креветок, которых кормили пищей с заменой 25 % РМ. Отмечено, что активность иммунных ферментов гепатопанкреаса заметно снизилась во всех группах, питавшихся личинками, по сравнению с контрольной группой. Концентрации аммиачного азота на протяжении экспериментальной фазы и нитратов в средней и поздней фазах эксперимента коррелировали отрицательно. Выявлено, что *Proteobacteria* и *Bacteroidetes* были доминирующими в кишечнике креветок, относительное обилие *Proteobacteria* и *Firmicutes* снизилось, а *Bacteroidetes* и *Planctomycetes* увеличивалось в группах, питавшихся по рационам, содержащим личинки насекомого. Наблюдалась высокая относительная численность потенциальных пробиотиков, таких как *Motilimonas*, *Shimia*, *Pseudoalteromonas* и *Shewanella*, и более низкая относительная численность рода *Vibrio* в группах, питавшихся свежими личинками черной львинки. Кроме того, отмечено, что креветки с данным рационом питания имели более высокое бактериальное богатство и разнообразие в кишечнике. Можно сделать вывод, что замена до 50 % РМ свежими личинками может быть целесообразна для выращивания *L. vannamei* [He et al., 2022b].

В то же время указывается, что свежий белок личинок в составе кормов оказывал отрицательное влияние на рост креветок, тогда как ферментированный и гранулированный при высокой температуре белок личинок черной львинки улучшал рост и выживаемость особей. Кроме того, ферментированный и гранулированный при высокой температуре белок личинок мух увеличивал численность полезных (*Ruegeria* и *Pseudomonas*) и снижал рост вредных (*Vibrio*) бактерий в кишечнике креветок [Li et al., 2023].

Кормление креветок с добавлением муки из личинок *H. illucens* показало наименьшие значения параметра прироста массы тела по сравнению с особями, кормившимися кормом, содержащим муку из внутренностей иберийской свиньи и из субпродуктов форели. Рацион с мукой из личинок насекомого имел значительно более низкую усвояемость белка (68,89 %) по сравнению с контролем и вышеперечисленными заменителями и значительно более высокую активность трипсина (0,17 мЕд/г). У креветок на рационе, содержащем личиночную муку, значительно более низкая доля белка в теле (19,69 %), чем у особей на рационах с мукой из внутренностей иберийской свиньи и мукой из субпродуктов форели. Выявлены также некоторые существенные различия в уровнях аминокислот в рационе, влияющих на аминокислотный состав тела креветок [Candela-Maldonado et al., 2025].

В работе Li с соавторами [2022] проводилась оценка коэффициентов кажущейся усвояемости шести новых источников белка для белоногих креветок, включая муку из личинок черной львинки, муку *Chlorella vulgaris*, концентрат белка хлопкового семени, муку из личинок желтого мучного хрущака *Tenebrio molitor*, белок *Clostridium autoethanogenum* и муку из метанотрофных бактерий *Methylococcus capsulatus*. Выявлено, что коэффициенты усвояемости сухого вещества рациона, а также кажущиеся коэффициенты усвояемости сырого протеина, сырых липидов и фосфора при исполь-

зовании в рационах муки из личинок черной львинки в большинстве случаев уступают другим альтернативным источникам белка для откорма креветок.

Что касается экономических аспектов использования муки из личинок черной львинки для выращивания белоногих креветок, при цене 2 долл./кг продемонстрирована выгодная окупаемость инвестиций по сравнению с РМ независимо от уровня замены. При замене на 25 и 50 % РМ мукой из личинок она оставалась конкурентоспособной по цене до 3,50 долл./кг. При замене на 75 % РМ не наблюдалось существенных различий в окупаемости инвестиций в диапазоне цен от 2,00 до 3,04 долл./кг. При полной замене РМ на муку из личинок насекомого окупаемость инвестиций значительно снижается при цене последней 2,50 долл./кг и выше. Следовательно, РМ может быть полностью заменена на муку из личинок *H. illucens* в сбалансированных рационах для молоди креветок [Nunes et al., 2023].

Использование жира личинок черной львинки для выращивания белоногих креветок в аквакультуре

Выше указывалось, что личинки *H. illucens* содержат в своем составе большое количество насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. С целью замены РЖ, входящего в состав кормов для выращивания креветок, проводились работы по использованию жиров из личинок насекомого в составе рационов. В работе Herawati с соавторами [2024] рацион для белоногих креветок был составлен с применением различных уровней жира личинок (1,0–2,5 %) в качестве замены РЖ на 100 г рациона. Для образцов брали креветок с начальной массой 0,13–0,14 г. Последние выращивались в течение 42 дней в контейнере объемом 15 дм³ при плотности посадки 15 особей на контейнер и кормились четыре раза в день. Добавление жира личинок *H. illucens* в рацион для креветок оказало значительное влияние на общее потребление и эффективность использования корма, коэффициент эффективности использования протеина, удельную скорость роста, абсолютную массу, абсолютную длину и удержание протеина. Вместе с тем использование жира личинок не оказало сильного воздействия ($p < 0,05$) на выживаемость креветок. Наилучшие результаты были получены в варианте, содержащем 1,5 % жиров, особенно в отношении показателей роста, аминокислотного и жирнокислотного профилей ракообразного.

Проводилась оценка возможности замены РЖ в рационах питания белоногих креветок с начальной массой $4,95 \pm 0,10$ г на жир личинок и изучалось влияние этой замены на рост, биохимические показатели, приблизительный состав, экспрессию генов, связанных с иммунной системой, липидным обменом и антиоксидантным ответом. Было составлено пять рационов, содержащих различные уровни замены РЖ на жир личинок: 0 %, 25, 50, 75 и 100 %. По результатам исследования показатель конечной массы креветок снижался, когда уровень замещения РЖ был более 50 %. Состав жирных кислот гепатопанкреаса был положительно связан с содержанием жира личинок насекомого в рационе, а содержание лауриновой кислоты значительно повышалось с увеличением последнего вместо РЖ в рационе. Экспрессия синтеза, связанного с липидами, существенно увеличивалась при полной замене РЖ на жир личинок, а гены липолиза показали тенденцию к росту. При увеличении доли жира личинок с 0 до 100 % экспрессия мРНК генов, связанных с иммунитетом, повышалась. Более того, увеличение доли замещения заметно увеличивало активность показателей гемолимфы. Согласно квадратичному регрессионному анализу оптимальный уровень замены РЖ на жир личинок черной львинки был оценен в 34,92 % [He et al., 2024].

Использование отходов и компоста от культивирования личинок *H. illucens* для выращивания белоногих креветок в аквакультуре

Кроме муки и жира из личинок *H. illucens* в рационах для выращивания белоногих креветок исследовалась возможность использования трех побочных продуктов,

образующихся при производстве личинок черной львинки (экзувии, коконы, имаго). Содержание белка составило 317 г/кг в экзувиях, 433 г/кг в коконах и до 521 г/кг в имаго. В муке имаго обнаружено значительное количество незаменимых аминокислот, что достоверно соответствовало идеальному аминокислотному составу рациона для креветок-пеноидов ($r^2 = 0,66$, $p = 0,0076$). Экзувии и коконы содержали умеренное количество липидов (64–140 г/кг), а имаго — 356 г общего количества липидов на 1 кг массы насекомого. Насыщенные жирные кислоты преобладали во всех частях насекомого (47–83 % от общего количества жирных кислот). Концентрация хитина была самой высокой в коконах и экзувиях — соответственно 154 и 139 г/кг — и низкой в имаго — 51 г/кг. Эксперимент с кормлением креветок выявил коэффициенты усвояемости 20–59 % для белка, 24–54 % — для энергии, 25–49 % — для углерода и 27–68 % — для меди. Обезжиривание имаго повысило усвояемость белка, энергии и углерода соответственно на 77, 64 и 61 %. Авторами сделан вывод, что обезжиренная мука из имаго может служить белковой добавкой к креветочному рациону [Fricke et al., 2024].

Весьма интересно исследование по использованию компоста от жизнедеятельности личинок *H. illucens* в рационах для выращивания креветок. Компост, помимо высокого содержания белка и жира (соответственно 21,6 и 6,0 %), содержит большое количество питательных веществ, хитин и полезные микроорганизмы [Yildirim-Aksoy et al., 2022]. Пять изокалорийных диет, содержащих компост 5–30 % в качестве частичной замены комбинации соевого и хлопкового шрота, пшеничной и кукурузной муки на равной основе белка, предлагались белоногим креветкам четыре раза в день. Четыре повторные группы по 15 креветок с начальной массой $4,06 \pm 0,05$ г содержали на экспериментальных рационах из расчета 4 % от общей массы тела ежедневно в течение 12 нед. Наблюдалась квадратичная тенденция роста с увеличением уровня компоста в рационе креветок. Кормление последних пищей с 5 и 30 % компоста показало соответственно наибольший и наименьший прирост массы. Доля липидов в филе линейно снижалась с увеличением доли компоста в рационе, а креветки, питавшиеся кормом с 20 %-ным и более высоким содержанием экструдата, имели значительно более низкий уровень липидов в филе. Сыворотка креветок, принимавших 20 % компоста в рационе, заметно увеличивала ингибирование роста *V. parahaemolyticus* по сравнению с контрольной группой. Однако другие параметры гемолимфы (общее количество гемоцитов, гемоцианин, сывороточный белок и сывороточный холестерин) не отличались от контроля. Можно сделать вывод, что компост от жизнедеятельности личинок черной львинки может быть включен в рацион креветок до 30 %, не влияя на показатели роста, состав тела, параметры гемолимфы ракообразных [Yildirim-Aksoy et al., 2022].

В работе Barth с соавторами [2025] указывается, что исследования кормов на основе личинок насекомого в аквакультуре креветок начались только недавно и показывают неоднородную картину с точки зрения параметров роста *L. vannamei*. Сравнение приблизительного состава рациона на основе РМ и личинок черной львинки позволяет заключить, что они имеют схожее содержание белка, но доля жира у личинок значительно выше. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что личинки *H. illucens* хорошо подходят в качестве корма для креветок с точки зрения содержания белка, но большое количество жира может быть серьезной проблемой. Частичная замена РМ личинками насекомого в рационах привела к снижению скорости роста, но к незначительному повышению выживаемости. При объединении этих двух параметров индекс продуктивности между вариантами питания существенно не различается. Оптимальным является замена до 30 % РМ мукой из личинок черной львинки. Добавление свежих личинок насекомого в рационы на основе РМ при выращивании креветок может быть экологически и экономически устойчивым подходом к улучшению аквакультуры.

Заключение

Обобщены данные различных литературных источников по применению личинок двукрылой мухи черная львинка *H. illucens*, Linnaeus, 1758 в составе рационов для

выращивания в аквакультуре белоногих креветок *L. vannamei* (Boone, 1931). Согласно этим сведениям мука из личинок черной львинки является эффективной кормовой добавкой для выращивания различных животных и рыб в аквакультуре, а использование небольшого количества муки из личинок насекомого в рационе питания креветок увеличивает количество и видовой состав бактерий в кишечнике. Однако большая дозировка муки из личинок черной львинки способствует воспалению кишечника, а также отрицательно влияет на текстуру мышц и аминокислотный состав креветок. Следовательно, рыбную муку до 60 % можно заменить мукой из обезжиренных личинок без каких-либо негативных последствий на показатели роста, активность иммунных ферментов, антиоксидантную активность и активность пищеварительных ферментов ракообразного.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор благодарен рецензентам за интерес, проявленный к работе.

The authors are grateful to anonymous reviewers for their interest to the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование осуществлялось на инициативной основе и не имело спонсорской поддержки.

The study was conducted on the authors' initiative and not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

Ковачева Н.П., Борисов Р.Р., Никонова И.Н. и др. Выращивание белоногой креветки (*Penaeus vannamei*, *Penaeidae*, *Decapoda*) в рециркуляционных установках: первый опыт экспериментального культивирования вида в России // Рыб. хоз-во. — 2018. — № 3. — С. 62–68.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Сапронова Ж.А., Бомба И.В. Переработка куриного помета с использованием личинок черной львинки (*Hermetia illucens*): обзор // Птицеводство. — 2021а. — № 2. — С. 68–73. DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-2-68-73.

Свергузова С.В., Воронина Ю.С., Шайхиев И.Г. Зарубежный опыт использования биомассы насекомых в рационах кормов для выращивания кроликов // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : сб. докл. Междунар. науч. конф. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021б. — С. 346–351.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Пендюрин Е.А. и др. Выращивание уток, индеек, цесарок, перепелов и куропаток с использованием биомассы насекомых (обзор литературы) // Птицеводство. — 2021в. — № 6. — С. 29–34. DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-29-34.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Воронина Ю.С. Зарубежный опыт выращивания обыкновенного лаврака (*Dicentrarchus labrax*) в аквакультуре с использованием муки из личинок и предкулолок черной львинки // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : сб. докл. Междунар. науч. конф. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021г. — С. 356–362.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Воронина Ю.С. Выращивание осетра сибирского (*Acipenser baerii*) с использованием муки из личинок и предкулолок черной львинки // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : сб. докл. Всерос. науч. конф. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021д. — С. 311–316.

Ушакова Н.А., Пономарев С.В., Федоровых Ю.В., Бастраков А.И. Использование протеин-хитинового концентрата личинок черной львинки *Hermetia illucens* в рационе всеядных рыб на примере красной тиляпии // Изв. Уфимского научного центра РАН. — 2018. — № 3. — С. 57–62. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-03-57-62.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А. и др. Использование биомассы насекомых для выращивания радужной форели в аквакультуре (краткий обзор зарубежной литературы) // Вестн. АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. — 2021а. — № 1. — С. 69–81. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Воронина Ю.С. Опыт выращивания тиляпий в аквакультуре с использованием личинок мухи *Hermetia illucens* за рубежом (обзор литературы) // Sciences of Europe. — 2021б. — Vol. 67–2. — С. 42–51. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-67-2-42-51.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Антюфеева Е.С. Использование пищевых отходов для выращивания личинок мухи *Hermetia illucens* (краткий обзор зарубежной литературы) // Экономика строительства и природопользования. — 2020а. — № 4(77). — С. 17–30. DOI: 10.37279/2519-4453-2020-4-17-30.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А. Использование личинок мухи *Hermetia illucens* в рационах кормов для выращивания поросят и взрослых свиней // Sciences of Europe. — 2020б. — Vol. 59–2. — Р. 12–19.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Даньшина Е.П. Использование биомассы личинок *Hermetia illucens* для выращивания рыб в аквакультуре (обзор зарубежной литературы) // Рыб. хоз-во. — 2020в. — № 5. — С. 86–92. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-5-86-92.

Abd El-Hack M.E., Shafi M.E., Alghamdi W.Y. et al. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal as a promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review // Agriculture. — 2020. — Vol. 10, № 8. — Article 339. DOI: 10.3390/agriculture10080339.

Ahmed I., İnal F., Riaz R. et al. A review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a potential alternative protein source in broiler diets // Annals of Animal Science. — 2023. — Vol. 23, № 4. DOI: 10.2478/aoas-2022-0094.

Alam S.N.M. Portraying the Bangladesh shrimp industry: A SWOT analysis // Sustainability. — 2024. — Vol. 16, № 3. — Article 1290. DOI: 10.3390/su16031290.

Amaya E., Davis D.A., Rouse D.B. Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* // Aquaculture. — 2007. — Vol. 262, № 2. — P. 419–425. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.11.001.

Amrul N.F., Ahmad I.K., Basri N.E.A. et al. A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*) // Sustainability. — 2022. — Vol. 14, № 8. — Article 4565. DOI: 10.3390/su14084565.

Barragan-Fonseca K.B., Dicke M., van Loon J.J. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2017. — Vol. 3, № 2. — P. 105–120. DOI: 10.3920/JIFF2016.0055.

Barth A., Stelbrink B., Klüber P. et al. Broad acceptance of sustainable insect-based shrimp feeds requires reproducible and comparable research // Aquaculture International. — 2025. — Vol. 33, № 2. — Article 101. — P. 1–24. DOI: 10.1007/s10499-024-01769-w.

Boaru A., Antal Vigh A., Ladoși D. et al. Studies regarding the fertilizing capacity of poultry manure biocomposted by fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) // AAB Bioflux. — 2018. — Vol. 10, № 3. — P. 114–121.

Candela-Maldonado Y., Megder I., Tefal E. et al. Four organic protein source alternatives to fish meal for pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) feeding // Fishes. — 2025. — Vol. 10, № 8. — Article 384. DOI: 10.3390/fishes10080384.

Chang T., Lin H., Han F. et al. Impact of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on health, muscle texture, and intestinal microbiota in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) // Aquaculture. — 2025. — Vol. 596. — Article 741755. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.741755.

Chen Y., Chi S., Zhang S. et al. Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on lipid and glucose metabolism of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* // Br. J. Nutr. — 2022. — Vol. 128, № 9. — P. 1674–1688. DOI: 10.1017/S0007114521004670.

Chen Y., Chi S., Zhang S. et al. Evaluation of the dietary Black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) on growth performance, intestinal health, and disease resistance to *Vibrio parahaemolyticus*

of the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Front. Mar. Sci. — 2021. — Vol. 8. — Article 706463. DOI: 10.3389/fmars.2021.706463.

Chen Y., Mitra A., Rahimnejad S. et al. Retrospect of fish meal substitution in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed: Alternatives, limitations and future prospects // Rev. Aquacult. — 2024. — Vol. 16, № 1. — P. 382–409. DOI: 10.1111/raq.12843.

Chen Y., Zheng C., Zhang S. et al. Dietary black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, non-specific immunity and lipid metabolism of *Litopenaeus vannamei* // Acta Hydrobiol. Sin. — 2023a. — Vol. 47, № 2. — P. 269–278. DOI: 10.7541/2023.2022.0201 (на кит.).

Chen Y., Zhuang Z., Liu J. et al. Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) revealed by innate immunity and 16S rRNA gene sequencing analysis // Comparative Biochemistry and Physiology. Part D: Genomics and Proteomics. — 2023b. — Vol. 46. — Article 101080. DOI: 10.1016/j.cbd.2023.101080.

Cummins Jr V.C., Rawles S.D., Thompson K.R. et al. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Aquaculture. — 2017. — Vol. 473. — P. 337–344. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.02.022.

Da Silva G.D.P., Hesselberg T. A review of the use of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to compost organic waste in tropical regions // Neotrop. Entomol. — 2020. — Vol. 49, № 2. — P. 151–162. DOI: 10.1007/s13744-019-00719-z.

Dalmoro Y.K., Franceschi C.H., Stefanello C. A systematic review and metanalysis on the use of *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* in diets for poultry // Vet. Sci. — 2023. — Vol. 10, № 12. — Article 702. — P. 1–23. DOI: 10.3390/vetsci10120702.

De Farias A.B.S., Santana T.M., Silva V.F. et al. Dietary inclusion of frass from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae modulates gut microbiota without compromising the growth performance and health status of catfish (*Ictalurus punctatus*) juveniles // Fish Physiology and Biochemistry. — 2025. — Vol. 51, № 4. — Article 137. DOI: 10.1007/s10695-025-01552-5.

Isibika A., Vinnerås B., Kibazohi O. et al. Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae // Waste Management. — 2019. — Vol. 100. — P. 151–160. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.09.017.

Fawole F.J., Adeoye A.A., Tiarniyu L.O. et al. Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haematophysiological response, and oxidative stress biomarker // Aquaculture. — 2020. — Vol. 518. — Article 734849. — P. 1–7. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734849.

Fricke E., Saborowski R., Slater M.J. Utility of by-products of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) production as feed ingredients for Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // J. World Aquac. Soc. — 2024. — Vol. 55, № 4. — Article e13070. — P. 1–16. DOI: 10.1111/jwas.13070.

Grassauer F., Ferdous J., Pelletier N. Manure valorization using black soldier fly larvae: a review of current systems, production characteristics, utilized feed substrates, and bioconversion and nitrogen conversion efficiencies // Sustainability. — 2023. — Vol. 15, № 16. — Article 12177. — P. 1–20. DOI: 10.3390/su151612177.

He Y., Liu X., Zhang N. et al. Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Aquac. Nutr. — 2022a. — Vol. 2022, № 1. — Article 9130400. — P. 1–8. DOI: 10.1155/2022/9130400.

He Y., Zhang N., Wang A. et al. Positive effects of replacing commercial feeds by fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Immune enzyme, water quality, and intestinal microbiota // Front. Mar. Sci. — 2022b. — Vol. 9. — Article 987363. — P. 1–15. DOI: 10.3389/fmars.2022.987363.

He Y., Peng H., Jin M. et al. Application evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil in shrimp feed: Effects on growth performance, antioxidant capacity and lipid metabolism // Aquac. Rep. — 2024. — Vol. 36. — Article 102174. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102174.

Herawati V.E., Elfitasari T., Darmanto Y.S. et al. Effect of different ratios of maggot meal (*Hermetia illucens*) on growth performance and body composition of vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) post larvae // AACL Bioflux. — 2023. — Vol. 16, № 2. — P. 768–779.

Herawati V.E., Susilo A., Pinandoyo P. et al. Optimization of fish meal substitution with maggot meal (*Hermetia illucens*) for growth and feed utilization efficiency of juvenile *Litopenaeus vannamei* //

Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Science. — 2019. — Vol. 21, № 2. — P. 284–297. DOI: 10.1051/bioconf/20237401024.

Herawati W.E., Windarto S., Anggraeni N., Arfan M. Optimal dietary maggot oil for juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Growth performance, feed utilization, and nutritional quality // AACL Bioflux. — 2024. — Vol. 17, № 1. — P. 61–71.

Hidayat N., Anggarini S., Sunyoto N.M.S. et al. Bioconversion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on agricultural waste: Potential source of protein and lipid, the application (A mini-review) // Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering. — 2024. — Vol. 7, № 1. — P. 78–92. DOI: 10.21776/ub.afssae.2024.007.01.8.

Jucker C., Erba D., Leonardi M.G. et al. Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae // Environ. Entomol. — 2017. — Vol. 46, № 6. — P. 1415–1423. DOI: 10.1093/ee/nvx154.

Julita U., Suryani Y., Kinasih I. et al. Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L), (Diptera : Stratiomyidae) reared on horse and sheep manure // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. — 2018. — Vol. 187. — Article 012071. DOI: 10.1088/1755-1315/187/1/012071.

Keetanon A., Chuchird N., Phansawat P. et al. Effects of black soldier fly larval meal on the growth performance, survival, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Aquaculture International. — 2024. — Vol. 32. — P. 2233–2248. DOI: 10.1007/s10499-023-01267-5.

Ko D., Lee Y., Kim S. Full-fat or defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a fish meal replacer in diet for *Penaeus vannamei* // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2025 (preprint). DOI: 10.1163/23524588-bja10257.

Lee C., Lee K.J. Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages // Fisheries and Aquatic Sciences. — 2018. — Vol. 21, № 1. — P. 1–6. DOI: 10.1186/s41240-018-0105-0.

Leeper A., Benhaïm D., Smárason B.O. et al. Feeding black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on organic rest streams alters gut characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2022. — Vol. 8, № 11. — P. 1355–1372. DOI: 10.3920/JIFF2021.0105.

Li Q., Zheng L., Qiu N. et al. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production // Waste Management. — 2011. — Vol. 31, № 6. — P. 1316–1320. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.01.005.

Li X., Chen Y., Zheng C. et al. Evaluation of six novel protein sources on apparent digestibility in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* // Aquac. Nutr. — 2022. — Vol. 2022. — Article 8225273. — P. 1–11. DOI: 10.1155/2022/8225273.

Li X., Yang L., Jiang S. et al. Effect of fly maggot protein as dietary on growth and intestinal microbial community of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* // Biology. — 2023. — Vol. 12, № 11. — Article 1433. — P. 1–17. DOI: 10.3390/biology12111433.

Ling S.L.Y., Shafiee M., Longworth Z. et al. Black soldier fly larvae meal (BSFLM) as an alternative protein source in sustainable aquaculture production: A scoping review of its comprehensive impact on shrimp and prawn farming // Animal Feed Science and Technology. — 2025. — Vol. 319, № 6. — Article 116174. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116174.

Liu T., Klammsteiner T., Dregulo A.M. et al. Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review // Sci. Total Environ. — 2022. — Vol. 833. — Article 155122. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155122.

Liu Y., Andin V.C., Chor W.K. et al. A preliminary study on the effects of substituting fishmeal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval meal on Asian seabass (*Lates calcarifer*) juveniles: Growth performance, feed efficiency, nutrient composition, disease resistance, and economic returns // J. Fish Biol. — 2024. — Vol. 105, № 6. — P. 1681–1693. DOI: 10.1111/jfb.15908.

Lu S., Taethaisong N., Meethip W. et al. Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review // Insects. — 2022. — Vol. 13, № 9. — Article 831. — P. 1–17. DOI: 10.3390/insects13090831.

Mohamad A., Tan C.K., Shah N.N.A.K. et al. Insect protein: A pathway to sustainable protein supply chains, challenges, and prospects // Journ. of Agriculture and Food Research. — 2025. — Vol. 19. — Article 101678. — P. 1–10. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.101678.

Mohan K., Rajan D.K., Muralisankar T. et al. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs // Aquaculture. — 2022. — Vol. 553. — Article 738095. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738095.

Nairuti R.N., Musyoka S.N., Yegon M.J., Opiyo M.A. Utilization of black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae as a protein source for fish feed — a review // Aquaculture Studies. — 2021. — Vol. 22, № 2. — P. 1–12. DOI: 10.4194/AQUAST697.

Novriadi R., Davies S., Triatmaja K.I.K. et al. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as an alternative to marine ingredients elicits superior growth performance and resistance to *Vibrio harveyi* infection for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. — 2024. — Vol. 24, № 1. — TRJFAS24343. DOI: 10.4194/TRJFAS24343.

N'Souvi K., Sun C., Che B., Vodounon A. Shrimp industry in China: overview of the trends in the production, imports and exports during the last two decades, challenges, and outlook // Front. Sustain. Food Syst. — 2024. — Vol. 7. — Article 1287034. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1287034.

Nugroho R.A., Nur F.M. Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. — 2018. — Vol. 144. — Article 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/144/1/012002.

Nunes A.J.P., Yamamoto H., Simões J.P. et al. The Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can fully replace fish meal in practical nursery diets for post-larval *Penaeus vannamei* under high-density culture // Fishes. — 2023. — Vol. 8. — Article 605. — P. 1–15. DOI: 10.3390/fishes8120605.

Odeon M.M., Fernández-Arhex V., García-Falabella B. et al. Innovative protein sources for sustainable sheep farming: assessing Black soldier fly larvae meal in merino lamb diet // Small Ruminant Research. — 2025. — Vol. 250. — Article 107556. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2025.107556.

Oliveira J.S., Ribeiro C.D.F., de Souza C.O., Ribeiro C.V.D.M. Mapping the use of insects in animal feed: scientific and technological data of *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens*, and *Zophobas morio* // Animal Production Science. — 2025. — Vol. 65, № 9. — AN24415. DOI: 10.1071/AN24415.

Oonincx D.G.A.B., van Huis A., van Loon J.J.A. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2015. — Vol. 1, № 2. — P. 131–139. DOI: 10.3920/JIFF2014.0023.

Parra Paz A.S., Carrejo N.S., Gómes Rodríguez C.H. Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) // Waste Biomass Valor. — 2015. — Vol. 6. — P. 1059–1065. DOI: 10.1007/s12649-015-9418-8.

Pastor B., Velásquez Y., Gobbi P., Rojo S. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2015. — Vol. 1, № 3. — P. 179–193. DOI: 10.3920/JIFF2014.0024.

Pauly D., Zeller D. Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture (SOFIA 2016) // Marine Policy. — 2017. — Vol. 77. — P. 176–181. DOI: 10.1016/j.marpol.2017.01.006.

Porto-Fragozo P.L., Rodríguez-Forero A. Fuentes proteicas alternas como sustituto parcial a la harina de pescado en las formulaciones nutricionales del cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*) // Orinoquia. — 2023. — Vol. 27, № 2. — e-767. DOI: 10.22579/20112629.767 (на исп.).

Raghuvaran N., Varghese T., Jana P. et al. Current status and global research trend patterns of insect meal in aquaculture from scientometric perspective: (2013–2022) // Aquac. Nutr. — 2024. — Article 5466604. DOI: 10.1155/2024/5466604.

Rahman R., Laconi E.B., Jayanegara A., Astuti D.A. Effect of dietary black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and bioconversion product of cocoa pod husk on performance and hematological profile of sheep // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. — 2021. — Vol. 1098, № 6. — Article 062058. DOI: 10.1088/1757-899X/1098/6/062058.

Rajalakshmi K., Felix N., Ranjan A. et al. Exploring sustainable animal protein sources for shrimp aquaculture in India // Sustainable Feed Ingredients and Additives for Aquaculture Farming. Sustainability Sciences in Asia and Africa. — Springer, Singapore, 2024. — P. 187–214. DOI: 10.1007/978-981-97-4279-0_9.

Rajalakshmi K., Nathan F., Ranjan A. et al. Physiological, immunological and nutritional assessment of *Penaeus vannamei* fed with different combinations of novel feed ingredients // Annals of Animal Science. — 2025. — Vol. 25, № 3. — P. 1087–1100. DOI: 10.2478/aoas-2025-0006.

Ritika P., Satyawati S., Rajendra P. Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste // Intern. Journ. Res. Biosci. — 2015. — Vol. 4, № 4. — P. 38–45.

Rizal M., Astuti D.A., Fahmi M.R. Evaluation of BSF larva meal and oil as white shrimp feed on growth performance, body composition, and health response // Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada. — 2024. — Vol. 26, № 2. — P. 193–201. DOI: 10.22146/jfs.97636.

Röthig T., Barth A., Tschirner M. et al. Insect feed in sustainable crustacean aquaculture // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2023. — Vol. 9, № 9. — P. 1115–1138. DOI: 10.3920/JIFF2022.0117.

- Saputra I., Lee Y.N.** Nutrition composition of commercial full-fat and defatted black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) as a potential protein resource for aquafeeds // Biodiversitas. — 2023. — Vol. 24, № 9. — P. 4877–4884. DOI: 10.13057/biodiv/d240930.
- Shah S.R.A., Çetingül I.S.** Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as an ecological, immune booster and economical feedstuff for aquaculture // Mar. Sci. Tech. Bull. — 2022. — Vol. 11, № 1. — P. 52–62. DOI: 10.33714/masteb.1041493.
- Shin J., Lee K.J.** Digestibility of insect meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their performance for growth, feed utilization and immune responses // PloS One. — 2021. — Vol. 16, № 11. — Article e0260305. — P. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0260305.
- Siddiqui S.A., Gadge A.S., Hasan M. et al.** Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer — A systematic review // Environment, Development and Sustainability. — 2024. — Vol. 26, № 12. — P. 30273–30354. DOI: 10.1007/s10668-024-04673-8.
- Singh A., Kumari K.** An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black soldier fly larvae: A review // Journ. Environ. Management. — 2019. — Vol. 251. — Article 109569. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109569.
- Sookying D., Davis D.A.** Pond production of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed high levels of soybean meal in various combinations // Aquaculture. — 2011. — Vol. 319, № 1–2. — P. 141–149. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.06.049.
- Stadtlander T., Deininger K., Sandrock C. et al.** Larven-Mehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) eignet sich für die Fütterung der Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) unter Praxisbedingungen in einer modernen Kreislaufanlage // Ernährungs Umschau. — 2025. — Vol. 72, № 8. — AP. 44–52. DOI: 10.4455/eu.2025.034 (на немец.).
- Sverguzova S.V., Shaikhiev I.H., Sapronova Z.A. et al.** Use of fly larvae *Hermetia illucens* in poultry feeding: a review paper // Journ. of Water and Land Development. — 2021. — Vol. 49. — P. 95–103. DOI: 10.24425/jwld.2021.137101.
- Tacon A.G.J., Cody J.J., Conquest L.D. et al.** Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets // Aquac. Nutr. — 2002. — Vol. 8, № 2. — P. 121–137. DOI: 10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x.
- Tran G., Heuzé V., Makkar H.** Insects in fish diets // Animal Frontiers. — 2015. — Vol. 5, № 2. — P. 37–44. DOI: 10.2527/af.2015-0018.
- Usman, Fahrur M., Kamaruddin et al.** The utilization of black soldier fly larvae meal as a substitution of fish meal in diet for white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, grow-out // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. — 2021. — Vol. 860, № 1. — Article 012023. — P. 1–10. DOI: 10.1088/1755-1315/860/1/012023.
- Veldkamp T., van Rozen K., Elissen H. et al.** Bioconversion of digestate, pig manure and vegetal residue-based waste operated by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) // Animals. — 2021. — Vol. 11, № 11. — Article 3082. — P. 1–10. DOI: 10.3390/ani11113082.
- Wang G., Peng K., Hu J. et al.** Evaluation of defatted *Hermetia illucens* larvae meal for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth performance, nutrition retention, antioxidant and immune response, digestive enzyme activity and hepatic morphology // Aquac. Nutr. — 2021. — Vol. 27, № 4. — P. 986–997. DOI: 10.1111/anu.13240.
- Wang Y.S., Shelomi M.** Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food // Foods. — 2017. — Vol. 6, № 10. — Article 91. — P. 1–23. DOI: 10.3390/foods6100091.
- Xiao X., Jin P., Zheng L. et al.** Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) // Aquac. Res. — 2018. — Vol. 49, № 4. — P. 1569–1577. DOI: 10.1111/are.13611.
- Xiao X., Mazza L., Yu Y. et al.** Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria // J. Environ. Management. — 2018. — Vol. 217. — P. 668–676. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.122.
- Yildirim-Aksoy M., Eljack R., Beck B.H., Peatman E.** Nutritional evaluation of frass from black soldier fly larvae as potential feed ingredient for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* // Aquac. Rep. — 2022. — Vol. 27. — Article 101353. — P. 1–8. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101353.
- Zheng J.Y., Gan Z.R., Huang T.Y. et al.** Replacement of fish meal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) in diet of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): growth, flesh quality

and transcriptome // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2024. — Vol. 11, № 5. — P. 873–893. DOI: 10.1163/23524588-00001235.

Zou X., Liu M., Li X. et al. Applications of insect nutrition resources in animal production // Journ. of Agriculture and Food Research. — 2024. — Vol. 15. — Article 100966. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.100966.

Zheng L., Li Q., Zhang J., Ziniu Y. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production // Renewable Energy. — 2012. — Vol. 41. — P. 75–79. DOI: 10.1016/j.renene.2011.10.004.

References

Kovacheva, N.P., Borisov, R.R., Nikonova, I.N., Kryakhova, N.V., and Lebedev, R.O., White shrimp *Penaeus vannamei*, Penaeidae, Decapoda cultivation in closed recycling water system: the first experience of the species' experimental cultivation in Russia, *Rybn. Khoz.*, 2018, no. 3, pp. 62–68.

Sverguzoza, S.V., Shaikhiev, I.G., Sapronova, Zh.A., and Bomba, I.V., The Processing of Chicken Manure by the Larvae of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*): A Review, *Ptitsvodstvo*, 2021, no. 2, pp. 68–73. doi 10.33845/0033-3239-2021-70-2-68-73

Sverguzoza, S.V., Voronina, Yu.S., and Shaikhiev, I.G., Foreign experience in using insect biomass in rabbit feed rations, in *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. "Ratsional'noye ispol'zovaniye prirodnikh resursov i pererabotka tekhnogennogo syr'ya: fundamental'nyye problemy nauki, materialovedeniye, khimiya i biotekhnologiya"* (Collection of reports of the International scientific conference "Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry, and biotechnology"), Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 346–351.

Sverguzoza, S.V., Shaikhiev, I.G., Pendyurin, E.A., Sapronova, J.A., and Bomba, I.V., The use of insect biomass in diets for ducks, turkeys, guinea fowl, quails, and partridges (a review), *Ptitsvodstvo*, 2021, no. 6, pp. 29–34. doi 10.33845/0033-3239-2021-70-6-29-34

Sverguzoza, S.V., Shaikhiev, I.G., and Voronina, Yu.S., Foreign experience in growing common sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in aquaculture using flour from larvae and pre-pupae of Black lily-of-the-valley, in *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. "Ratsional'noye ispol'zovaniye prirodnikh resursov i pererabotka tekhnogennogo syr'ya: fundamental'nyye problemy nauki, materialovedeniye, khimiya i biotekhnologiya"* (Collection of reports of the International scientific conference "Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry, and biotechnology"), Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 356–362.

Sverguzoza, S.V., Shaikhiev, I.G., and Voronina, Yu.S., Cultivation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) using flour from larvae and pre-pupae of the black ladybird, in *Sb. dokl. Vseros. nauch. konf. "Bezopasnost', zashchita i okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy: fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya"* (Collection of Reports of the All-Russian Scientific Conference «Safety, Protection, and Conservation of the Natural Environment: Fundamental and Applied Research»), Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 311–316.

Ushakova, N.A., Ponomarev, S.V., Fedorovykh, Yu.V., and Bastrakov, A.I., Using protein and chitin concentrate of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) in omnivorous fish feeding: a case study of red tilapia, *Izv. Ufimskogo nauchnogo tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2018, no. 3, pp. 57–62. doi 10.31040/2222-8349-2018-0-3-57-62

Shaykhiev, I.G., Sverguzoza, S.V., Sapronova, Zh.A., Syvatchenko, A.V., and Ushakova, N.A., Using insect biomass for rainbow trout cultivation in aquaculture (foreign literature review), *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Rybnoye khozyaystvo*, 2021, no. 1, pp. 69–81. doi 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81

Shaikhiev, I.G., Sverguzoza, S.V., Sapronova, Zh.A., and Voronina, Yu.S., Experience of tilapia cultivation in aquaculture using *Hermetia illucens* flies abroad (literature review), *Sciences of Europe*, 2021, no. 67–2, pp. 42–51. doi 10.24412/3162-2364-2021-67-2-42-51

Shaikhiev, I.G., Sverguzoza, S.V., Sapronova, Zh.A., and Antyufeeva, E.S., Using food waste for the growing of *Hermetia illucens* fly larvae (brief review of foreign literature), *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*, 2020, no. 4(77), pp. 17–30. doi 10.37279/2519-4453-2020-4-17-30

Shaikhiev, I., Sverguzoza, S., and Sapronova, Zh., Use of fly larvae *Hermetia illucens* in feed diets for growing piglets and adult pigs, *Sciences of Europe*, 2020, vol. 59–2, pp. 12–19.

- Shaikhiev, I.G., Sverguzova, S.V., Sapronova, Zh.A., and Danshina, E.P.**, Using intact and minced *Hermetia illucens* larvae as a fodder in aquaculture (review of foreign literature), *Rybn. Khoz.*, 2020, no. 5, pp. 86–92. doi 10.37663/0131-6184-2020-5-86-92
- Abd El-Hack, M.E., Shafi, M.E., Alghamdi, W.Y., Abdelnour, S.A., Shehata, A.M., Noreldin, A.E., Ashour, E.A., Swelum, A.A., Al-Sagan, A.A., Alkhateeb, M., Taha, A.E., Abdel-Moneim, A.-M.E., Tufarelli, V., and Ragni M.**, Black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal as a promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review, *Agriculture*, 2020, vol. 10, no. 8, art. ID 339. doi 10.3390/agriculture10080339
- Ahmed, I., İnal, F., Riaz, R., Ahsan, U., Kuter, E., and Ali, U.**, A review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a potential alternative protein source in broiler diets, *Annals of Animal Science*, 2023, vol. 23, no. 4. doi 10.2478/aoas-2022-0094
- Alam, S.N.M.**, Portraying the Bangladesh shrimp industry: A SWOT analysis, *Sustainability*, 2024, vol. 16, no. 3, art. ID 1290. doi 10.3390/su16031290
- Amaya, E., Davis, D.A., and Rouse, D.B.**, Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture*, 2007, vol. 262, no. 2, pp. 419–425. doi 10.1016/j.aquaculture.2006.11.001
- Amrul, N.F., Ahmad, I.K., Basri, N.E.A., Suja, F., Jalil, N.A.A., and Azman, N.A.**, A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*), *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 8, art. ID 4565. doi 10.3390/su14084565
- Barragan-Fonseca, K.B., Dicke, M., and van Loon, J.J.**, Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2017, vol. 3, no. 2, pp. 105–120. doi 10.3920/JIFF2016.0055
- Barth, A., Stelbrink, B., Klüber, P., Schubert, P., Bendag, S., and Wilke, T.**, Broad acceptance of sustainable insect-based shrimp feeds requires reproducible and comparable research, *Aquaculture International*, 2025, vol. 33, no. 2, art. ID 101, pp. 1–24. doi 10.1007/s10499-024-01769-w
- Boaru, A., Antal Vigh, A., Ladoși, D., Struți, D., Păpuc, T., and Georgescu, B.**, Studies regarding the fertilizing capacity of poultry manure biocomposted by fly larvae (Diptera: Stratiomyidae), *AAB Bioflux*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 114–121.
- Candela-Maldonado, Y., Megder, I., Tefal, E., Peñaranda, D.S., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., and Jauralde, I.**, Four organic protein source alternatives to fish meal for pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) feeding, *Fishes*, 2025, vol. 10, no. 8, art. ID 384. doi 10.3390/fishes10080384
- Chang, T., Lin, H., Han, F., Xu, C., and Li, E.**, Impact of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on health, muscle texture, and intestinal microbiota in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*), *Aquaculture*, 2025, vol. 596, art. ID 741755. doi 10.1016/j.aquaculture.2024.741755
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., and Xie, S.**, Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on lipid and glucose metabolism of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, *British Journal of Nutrition*, 2022, vol. 128, no. 9, pp. 1674–1688. doi 10.1017/S0007114521004670
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., and Xie, S.**, Evaluation of the dietary Black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) on growth performance, intestinal health, and disease resistance to *Vibrio parahaemolyticus* of the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Frontiers in Marine Science*, 2021, vol. 8, art. ID 706463. doi 10.3389/fmars.2021.706463
- Chen, Y., Mitra, A., Rahimnejad, S., Chi, S., Kumar, V., Tan, B., Niu, J., and Xie, S.**, Retrospect of fish meal substitution in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed: Alternatives, limitations and future prospects, *Reviews in Aquaculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 382–409. doi 10.1111/raq.12843
- Chen, Y., Zheng, C., Zhang, S., Chi, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., and Xie, S.**, Dietary black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, non-specific immunity and lipid metabolism of *Litopenaeus vannamei*, *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, vol. 47, no. 2, pp. 269–278. doi 10.7541/2023.2022.0201 (in Chinese)
- Chen, Y., Zhuang, Z., Liu, J., Wang, Z., Guo, Y., Chen, A., Chen, B., Zhao, W., and Niu, J.**, Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) revealed by innate immunity and 16S rRNA gene sequencing analysis, *Comparative Biochemistry and Physiology. Part D: Genomics and Proteomics*, 2023, vol. 46, art. ID 101080. doi 10.1016/j.cbd.2023.101080
- Cummins, Jr V.C., Rawles, S.D., Thompson, K.R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., and Webster, C.D.**, Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total

replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Aquaculture*, 2017, vol. 473, pp. 337–344. doi 10.1016/j.aquaculture.2017.02.022

Da Silva, G.D.P. and Hesselberg, T., A review of the use of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to compost organic waste in tropical regions, *Neotropical Entomology*, 2020, vol. 49, no. 2, pp. 151–162. doi 10.1007/s13744-019-00719-z

Dalmoro, Y.K., Franceschi, C.H., and Stefanello, C., A systematic review and metanalysis on the use of *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* in diets for poultry, *Veterinary Sciences*, 2023, vol. 10, no. 12, art. ID 702, pp. 1–23. doi 10.3390/vetsci10120702

De Farias, A.B.S., Santana, T.M., Silva, V.F., Older, C.E., Conde, C.L., Romano, N., Gatlin, D.M., Gonçalves, L.U., and Yamamoto, F.Y., Dietary inclusion of frass from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae modulates gut microbiota without compromising the growth performance and health status of catfish (*Ictalurus punctatus*) juveniles, *Fish Physiology and Biochemistry*, 2025, vol. 51, no. 4, art. ID 137. doi 10.1007/s10695-025-01552-5

Isibika, A., Vinnerås, B., Kibazohi, O., Zurbrugg, C., and Lalander, C., Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)), Diptera: Stratiomyidae) larvae, *Waste Management*, 2019, vol. 100, pp. 151–160. doi 10.1016/j.wasman.2019.09.017

Fawole, F.J., Adeoye, A.A., Tiamiyu, L.O., Ajalaa, K.I., Obadara, S.O., and Ganiyu, I.O., Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker, *Aquaculture*, 2020, vol. 518, art. ID 734849, pp. 1–7. doi 10.1016/j.aquaculture.2019.734849

Fricke, E., Saborowski, R., and Slater, M.J., Utility of by products of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) production as feed ingredients for Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Journal of the World Aquaculture Society*, 2024, vol. 55, no. 4, art. ID e13070, pp. 1–16. doi 10.1111/jwas.13070

Grassauer, F., Ferdous, J., and Pelletier, N., Manure valorization using black soldier fly larvae: a review of current systems, production characteristics, utilized feed substrates, and bioconversion and nitrogen conversion efficiencies, *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 16, art. ID 12177, pp. 1–20. doi 10.3390/su151612177

He, Y., Liu, X., Zhang, N., Wang, S., Wang, A., Zuo, R., and Jiang, Y., Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Aquaculture Nutrition*, 2022, no. 1, art. ID 9130400, pp. 1–8. doi: 10.1155/2022/9130400

He, Y., Zhang, N., Wang, A., Wang, S., Che, Y., Huang, S., Yi, Q., Ma, Y., and Jiang, Y., Positive effects of replacing commercial feeds by fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Immune enzyme, water quality, and intestinal microbiota, *Frontiers in Marine Science*, 2022, vol. 9, art. ID 987363, pp. 1–15. doi 10.3389/fmars.2022.987363

He, Y., Peng, H., Jin, M., Wang, J., Li, S., Li, M., Zhu, T., Zhang, L., Chen, X., and Zhou, Q., Application evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil in shrimp feed: Effects on growth performance, antioxidant capacity and lipid metabolism, *Aquaculture Reports*, 2024, vol. 36, art. ID 102174. doi 10.1016/j.aqrep.2024.102174

Herawati, V.E., Elfitasari, T., Darmanto, Y.S., Anggraeni, N., and Windarto, S., Effect of different ratios of maggot meal (*Hermetia illucens*) on growth performance and body composition of vannamei shrimp (*Litopennaeus vannamei*) post larvae, *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 2023, vol. 16, no. 2, pp. 768–779.

Herawati, V.E., Susilo, A., Pinandoyo, P., Hutabarat, J., Sugianto, D.N., Wirasatriya, A., and Karnaradjasa, O., Optimization of fish meal substitution with maggot meal (*Hermetia illucens*) for growth and feed utilization efficiency of juvenile *Litopenaeus vannamei*, *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Science*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 284–297. doi 10.1051/bioconf/20237401024

Herawati, W.E., Windarto, S., Anggraeni, N., and Arfan, M., Optimal dietary maggot oil for juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Growth performance, feed utilization, and nutritional quality, *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 2024, vol. 17, no. 1, pp. 61–71.

Hidayat, N., Anggarini, S., Sunyoto, N.M.S., Fitri, L.E., Suhartini, S., Rohma, N.A., Elviliana, E., Setyawan, S.A.A., Subekti, I.F., Namira, A.A., Nafi'ah, R.W., Afifah, F.N., and Pratama, A.P.A., Bioconversion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on agricultural waste: Potential source of protein and lipid, the application (A mini-review), *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 2024, vol. 7, no. 1, pp. 78–92. doi 10.21776/ub.afssaae.2024.007.01.8

- Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M.G., Lupi, D., Savoldelli, S., Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae, *Environmental Entomology*, 2017, vol. 46, no. 6, pp. 1415–1423. doi 10.1093/ee/nvx154
- Julita, U., Suryani, Y., Kinasih, I., Yuliawati, A., Cahyanto, T., Maryeti, Y., Permana, A., and Fitri, L., Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L), (Diptera : Stratiomyidae) reared on horse and sheep manure, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 187, art. ID 012071. doi 10.1088/1755-1315/187/1/012071
- Keetanon, A., Chuchird, N., Phansawat, P., Kitsanayanyong, L., Chou, C.-C., Verstraete, P., Ménard, R., Richards, C.S., Ducharne, F., and Rairat, T., Effects of black soldier fly larval meal on the growth performance, survival, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Aquaculture International*, 2024, vol. 32, pp. 2233–2248. doi 10.1007/s10499-023-01267-5
- Ko, D., Lee, Y., Kim, S., Song, S., Kim, W., Kim, S., Hur, S.W., Kim, K.-W., and Lee, K.-J., Full-fat or defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a fish meal replacer in diet for *Penaeus vannamei*, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2025, preprint, pp. 1–17. doi 10.1163/23524588-bja10257
- Lee, C. and Lee, K.J., Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages, *Fisheries and Aquatic Sciences*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 1–6. doi 10.1186/s41240-018-0105-0
- Leeper, A., Benhaïm, D., Smáráson, B.O., Knobloch, S., Ómarsson, K.L., Bonnafoux, T., Pipan, M., Koppe, W., Björnsdóttir, R., and Øverland, M., Feeding black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on organic rest streams alters gut characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Journal of Insects as Food and Feed*, 2022, vol. 8, no. 11, pp. 1355–1372. doi 10.3920/JIFF2021.0105
- Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J.K., and Yu, Z., Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production, *Waste Management*, 2011, vol. 31, no. 6, pp. 1316–1320. doi 10.1016/j.wasman.2011.01.005
- Li, X., Chen, Y., Zheng, C., Chi, S., Zhang, S., Tan, B., and Xie, S., Evaluation of six novel protein sources on apparent digestibility in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture Nutrition*, 2022, vol. 2022, art. ID 8225273, pp. 1–11. doi 10.1155/2022/8225273
- Li, X., Yang, L., Jiang, S., Zhou, F., Jiang, S., Li, Y., Chen, X., Yang, Q., Duan, Y., and Huang, J., Effect of fly maggot protein as dietary on growth and intestinal microbial community of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, *Biology*, 2023, vol. 12, no. 11, art. ID 1433, pp. 1–17. doi 10.3390/biology12111433
- Ling, S.L.Y., Shafiee, M., Longworth, Z., Vatanparast, H., Tabatabaei, M., and Liew, H.J., Black soldier fly larvae meal (BSFLM) as an alternative protein source in sustainable aquaculture production: A scoping review of its comprehensive impact on shrimp and prawn farming, *Animal Feed Science and Technology*, 2025, vol. 319, no 6, art. ID 116174. doi 10.1016/j.anifeeds.2024.116174
- Liu, T., Klammersteiner, T., Dregulo, A.M., Kumar, V., Zhou, Y., Zhang, Z., and Awasthi, M.K., Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review, *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 833, art. ID 155122. doi 10.1016/j.scitotenv.2022.155122
- Liu, Y., Andin, V.C., Chor, W.K., Gunasekaran, B., Chong, Ch.M., Lee, Po.Ts., and Loh, J.Ya., A preliminary study on the effects of substituting fishmeal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval meal on Asian seabass (*Lates calcarifer*) juveniles: Growth performance, feed efficiency, nutrient composition, disease resistance, and economic returns, *Journal of Fish Biology*, 2024, vol. 105, no. 6, pp. 1681–1693. doi 10.1111/jfb.15908
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archana, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R.A.P., and Paengkoum, P., Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review, *Insects*, 2022, vol. 13, no. 9, art. ID 831, pp. 1–17. doi 10.3390/insects13090831
- Mohamad, A., Tan, C.K., Shah, N.N.A.K., Nayan, N., Ibrahim, A., Abdi, G., and Aadil, R.M., Insect protein: A pathway to sustainable protein supply chains, challenges, and prospects, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2025, vol. 19, art. ID 101678, pp. 1–10. doi 10.1016/j.jafr.2025.101678
- Mohan, K., Rajan, D.K., Muralisankar, T., Abirami, R.G., Palanivel, S., and Revathi, N., Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs, *Aquaculture*, 2022, vol. 553, art. ID 738095. doi 10.1016/j.aquaculture.2022.738095

Nairuti, R.N., Musyoka, S.N., Yegon, M.J., and Opiyo, M.A., Utilization of black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae as a protein source for fish feed — a review, *Aquaculture Studies*, 2021, vol. 22, no. 2, pp. 1–12. doi 10.4194/AQUAST697

Novriadi, R., Davies, S., Triatmaja, K.I.K., Hermawan, M., Kontara, E.K.M., Tanaka, B., Rinaldy, A., and Nugroho, J.E., Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as an alternative to marine ingredients elicits superior growth performance and resistance to *Vibrio harveyi* infection for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2024, vol. 24, no. 1, TRJFAS24343. doi 10.4194/TRJFAS24343

N'Souvi, K., Sun, C., Che, B., and Vodounon, A., Shrimp industry in China: overview of the trends in the production, imports and exports during the last two decades, challenges, and outlook, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024, vol. 7, art. ID 1287034. doi 10.3389/fsufs.2023.1287034

Nugroho, R.A. and Nur, F.M., Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured, *IOP Conferencies Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 144, art. ID 012002. doi 10.1088/1755-1315/144/1/012002

Nunes, A.J.P., Yamamoto, H., Simões, J.P., Pisa, J.L., Miyamoto, N., and Leite, J.S., The Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can fully replace fish meal in practical nursery diets for post-larval *Penaeus vannamei* under high-density culture, *Fishes*, 2023, vol. 8, art. ID 605, pp. 1–15. doi 10.3390/fishes8120605

Odeon, M.M., Fernández-Arhex, V., García-Falabella, B., Villar, L., Caballero, V., Hara, S., Cancino, A.K., and Villagra, E.S., Innovative protein sources for sustainable sheep farming: as-sesing Black soldier fly larvae meal in merino lamb diet, *Small Ruminant Research*, 2025, vol. 250, art. ID 107556. doi 10.1016/j.smallrumres.2025.107556

Oliveira, J.S., Ribeiro, C.D.F., de Souza, C.O., and Ribeiro, C.V.D.M., Mapping the use of insects in animal feed: scientific and technological data of *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens*, and *Zophobas morio*, *Animal Production Science*, 2025, vol. 65, no. 9, AN24415. doi 10.1071/AN24415

Ooninx, D.G.A.B., van Huis, A., and van Loon, J.J.A., Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015, vol. 1, no. 2, pp. 131–139. doi 10.3920/JIFF2014.0023

Parra Paz, A.S., Carrejo, N.S., and Gómes Rodríguez, C.H., Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae), *Waste Biomass Valorisation*, 2015, vol. 6, pp. 1059–1065. doi 10.1007/s12649-015-9418-8

Pastor, B., Velásquez, Y., Gobbi, P., and Rojo, S., Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015, vol. 1, no. 3, pp. 179–193. doi 10.3920/JIFF2014.0024

Pauly, D. and Zeller, D., Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture (SOFIA 2016), *Marine Policy*, 2017, vol. 77, pp. 176–181. doi 10.1016/j.marpol.2017.01.006

Porto-Fragozo, P.L. and Rodríguez-Forero, A., Fuentes proteicas alternas como sustituto parcial a la harina de pescado en las formulaciones nutricionales del cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*), *Orinoquia*, 2023, vol. 27, no. 2, e-767. doi 10.22579/20112629.767 (in Spain)

Raghuvaran, N., Varghese, T., Jana, P., Brighty, R.J.A., Sethupathy, A.M., S., S., Alrashdi, Y.B.A., Ibrahim, A.E., and Deeb, S.E., Current status and global research trend patterns of insect meal in aquaculture from scientometric perspective: (2013–2022), *Aquaculture Nutrition*, 2024, art. ID 5466604. doi 10.1155/2024/5466604

Rahman, R., Laconi, E.B., Jayanegara, A., and Astuti, D.A., Effect of dietary black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and bioconversion product of cocoa pod husk on performance and hematological profile of sheep, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1098, no. 6, art. ID 062058. doi 10.1088/1757-899X/1098/6/062058

Rajalakshmi, K., Felix, N., Ranjan, A., Ishfaq, M., and Sathishkumar, G., Exploring sustainable animal protein sources for shrimp aquaculture in India, in *Sustainable Feed Ingredients and Additives for Aquaculture Farming. Sustainability Sciences in Asia and Africa*, Springer, Singapore, 2024, pp. 187–214. doi 10.1007/978-981-97-4279-0_9

Rajalakshmi, K., Nathan, F., Ranjan, A., Arumugam, U., and Sathishkumar, G., Physiological, immunological and nutritional assessment of *Penaeus vannamei* fed with different combinations of novel feed ingredients, *Annals of Animal Science*, 2025, vol. 25, no. 3, pp. 1087–1100. doi 10.2478/aoas-2025-0006

Ritika, P. and Rajendra, S.S.P., Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste, *International Journal of Research in Biosciences*, 2015, vol. 4, no. 4, pp. 38–45.

- Rizal, M., Astuti, D.A., and Fahmi, M.R.,** Evaluation of BSF larva meal and oil as white shrimp feed on growth performance, body composition, and health response, *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 2024, vol. 26, no. 2, pp. 193–201. doi 10.22146/jfs.97636
- Röthig, T., Barth, A., Tschirner, M., Schubert, P., Wenning, M., Billion, A., Wilke, T., and Vilcinskas, A.,** Insect feed in sustainable crustacean aquaculture, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2023, vol. 9, no. 9, pp. 1115–1138. doi 10.3920/JIFF2022.0117
- Saputra, I. and Lee, Y.N.,** Nutrition composition of commercial full-fat and defatted black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) as a potential protein resource for aquafeeds, *Biodiversitas*, 2023, vol. 24, no. 9, pp. 4877–4884. doi 10.13057/biodiv/d240930
- Shah, S.R.A. and Çetingül, İ.S.,** Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as an ecological, immune booster and economical feedstuff for aquaculture, *Marine Science and Technology Bulletin*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. 52–62. doi 10.33714/masteb.1041493
- Shin, J. and Lee, K.J.,** Digestibility of insect meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their performance for growth, feed utilization and immune responses, *PloS One*, 2021, vol. 16, no. 11, art. ID e0260305, pp. 1–16. doi 10.1371/journal.pone.0260305
- Siddiqui, S.A., Gadge, A.S., Hasan, M., Rahayu, T., Povetkin, S.N., Fernando, I., and Castro-Muñoz, R.,** Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer — A systematic review, *Environment, Development and Sustainability*, 2024, vol. 26, no. 12, pp. 30273–30354. doi 10.1007/s10668-024-04673-8
- Singh, A. and Kumari, K.,** An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black soldier fly larvae: A review, *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 251, art. ID 109569. doi 10.1016/j.jenvman.2019.109569
- Sookying, D. and Davis, D.A.,** Pond production of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed high levels of soybean meal in various combinations, *Aquaculture*, 2011, vol. 319, no. 1–2, pp. 141–149. doi 10.1016/j.aquaculture.2011.06.049
- Stadtlander, T., Deininger, K., Sandroch, C., Schindler, F., Wecker, B., Wohlfahrt, J., Lemme, A., and Lambertz, C.,** Larven-Mehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) eignet sich für die Fütterung der Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) unter Praxisbedingungen in einer modernen Kreislaufanlage, *Ernährungs Umschau*, 2025, vol. 72, no. 8, AP. 44–52. doi 10.4455/eu.2025.034 (in Deutsch)
- Sverguzova, S.V., Shaikhiev, I.H., Sapronova, Z.A., Fomina, E.V., and Makridina, Yu.L.,** Use of fly larvae *Hermetia illucens* in poultry feeding: a review paper, *Journal of Water and Land Development*, 2021, vol. 49, pp. 95–103. doi 10.24425/jwld.2021.137101
- Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., and Decamp, O.E.,** Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets, *Aquaculture Nutrition*, 2002, vol. 8, no. 2, pp. 121–137. doi 10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x
- Tran, G., Heuzé, V., and Makkar, H.,** Insects in fish diets, *Animal Frontiers*, 2015, vol. 5, no. 2, pp. 37–44. doi 10.2527/af.2015-0018
- Usman, Fahrur, M., Kamaruddin, Asaad, A.I.J., and Fahmi, M.R.,** The utilization of black soldier fly larvae meal as a substitution of fish meal in diet for white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, grow-out, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 860, no. 1, art. ID 012023, pp. 1–10. doi 10.1088/1755-1315/860/1/012023
- Veldkamp, T., van Rozen, K., Elissen, H., van Wikselaar, P., and van der Weide, R.,** Bio-conversion of digestate, pig manure and vegetal residue-based waste operated by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae), *Animals*, 2021, vol. 11, no. 11, art. ID 3082, pp. 1–10. doi 10.3390/ani11113082
- Wang, G., Peng, K., Hu, J., Mo, W., Wei, Z., and Huang, Y.,** Evaluation of defatted *Hermetia illucens* larvae meal for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth performance, nutrition retention, antioxidant and immune response, digestive enzyme activity and hepatic morphology, *Aquaculture Nutrition*, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 986–997. doi 10.1111/anu.13240
- Wang, Y.S. and Shelomi, M.,** Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food, *Foods*, 2017, vol. 6, no. 10, art. ID 91, pp. 1–23. doi 10.3390/foods6100091
- Xiao, X., Jin, P., Zheng, L., Cai, M., Yu, Z., Yu, J., and Zhang, J.,** Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*), *Aquaculture Research*, 2018, vol. 49, no. 4, pp. 1569–1577. doi 10.1111/are.13611
- Xiao, X., Mazza, L., Yu, Y., Cai, M., Zheng, L., Tomberlin, J.K., Yu, J., van Huis, A., Yu, Z., Fasulo, S., and Zhang, J.,** Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and

organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria, *Journal of Environmental Management*, 2018, vol. 217, pp. 668–676. doi 10.1016/j.jenvman.2018.03.122

Yildirim-Aksoy, M., Eljack, R., Beck, B.H., and Peatman, E., Nutritional evaluation of frass from black soldier fly larvae as potential feed ingredient for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture Reports*, 2022, vol. 27, art. ID 101353, pp. 1–8. doi 10.1016/j.aqrep.2022.101353

Zheng, J.Y., Gan, Z.R., Huang, T.Y., Xiao, Y., Xu, W.Y., Li, X.Q., and Leng, X.J., Replacement of fish meal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) in diet of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): growth, flesh quality and transcriptome, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2024, vol. 11, no. 5, pp. 873–893. doi 10.1163/23524588-00001235

Zou, X., Liu, M., Li, X., Pan, F., Wu, X., Fang, X., Zhou, F., Peng, W., and Tian, W., Applications of insect nutrition resources in animal production, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2024, vol. 15, art. ID 100966. doi 10.1016/j.jafr.2024.100966

Zheng, L., Li, Q., Zhang, J., and Ziniu, Y., Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production, *Renewable Energy*, 2012, vol. 41, pp. 75–79. doi 10.1016/j.renene.2011.10.004

Поступила в редакцию 13.10.2025 г.

После доработки 26.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 13.10.2025; approved after reviewing 26.11.2025;

accepted for publication 3.12.2025