

## Использование биомассы личинок *Hermetia illucens* для выращивания рыб в аквакультуре (обзор зарубежной литературы)

DOI

Рисунок 1. Внешний вид мухи *Hermetia illucens* / Figure 1. Appearance of *Hermetia illucens*

Д-р техн. наук, доцент **И.Г. Шайхиев** – Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань; д-р техн. наук, профессор **С.В. Свергузова**, д-р. техн. наук, доцент **Ж.А. Сапронова**, канд. физ-мат. наук **Е.П. Даньшина** – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

@ ildars@inbox.ru,  
pe@intbel.ru,  
sapronova.2016@yandex.ru,  
clatienergo@yandex.ru

**Ключевые слова:**  
мука, личинки мухи *Hermetia illucens*, кормление рыб, аквакультура

**Keywords:**  
flour, *Hermetia illucens* larvae, fish feeding, aquaculture

### USING INTACT AND MINCED *HERMETIA ILLUCENS* LARVAE AS A FODDER IN AQUACULTURE (REVIEW OF FOREIGN LITERATURE)

**I.G. Shaikhiev**, Doctor of Sciences, Associate Professor - Kazan National Research Technological University, Kazan;  
**S.V. Sverguzova**, Doctor of Sciences; **Zh.A. Sapronova**, Doctor of Sciences, Professor;  
**E.P. Danshina**, PhD - Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod  
ildars@inbox.ru, pe@intbel.ru, sapronova.2016@yandex.ru, clatienergo@yandex.ru

Brief information on the life cycle of the *Hermetia illucens* fly and the use of its larvae biomass as an additive in fodders for animals, birds and fish breeding is presented. The information from foreign literature about the use of flour from the dried larvae of *Hermetia illucens* as ingredients for fish feeding in aquaculture with full or partial replacement of fishmeal and soybean meal is briefly summarized.

Морепродукты, особенно рыба, играют существенную роль в питании людей. За последние несколько десятилетий потребление морепродуктов возросло, и, как ожидается, данная тенденция сохранится в будущем. Прогнозируется, что к 2050 г. население планеты достигнет численности 10 млрд человек. Промысловые уловы, вероятно, достигли своего пика, и поэтому ожидается, что любой значительный рост предложения рыбы в будущем будет происходить, главным образом, за счет аквакультуры. Тем не менее, аквакультура продолжает пола-

гаться на природные запасы, используя рыбную муку для поддержания культуры кормовых видов [1].

В последние десятилетия, благодаря исследованиям в области аквакультурного питания, были выявлены альтернативы традиционным ресурсам морского происхождения. Производители кормов по всему миру используют эту информацию для замены растущего количества рыбной муки и рыбьего жира в комбикормах [2].

В последние несколько лет в мировом сообществе весьма интенсивно развивается новое

инновационное направление – использование насекомых в качестве ингредиента кормов для откорма и выращивания различных видов домашних животных (свиньи, кролики) [3-8], птиц (цыплята, индюшки, перепела) [9-12] и рыб [13-17].

Особый интерес среди всего многообразия насекомых, используемых для питания животных и рыб, привлекают личинки и куколки мухи *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae).

*Hermetia illucens* – крупная муха из семейства львинковых (*Stratiomyia chamaeleon*), в естественных условиях, в основном, распространена в тропиках и субтропиках. В России носит название «Черная львинка». Название указывает на цвет взрослых особей мужского и женского родов. Тело взрослых мух черного цвета, голени и лапки – белого (рис. 1). Жизненный цикл мух *Hermetia illucens* включает несколько фаз развития (рис. 2) [18]. После вылупления из куколок взрослые особи спариваются на третий день жизни, и уже через несколько дней самка откладывает до 1000 яиц во влажный органический субстрат, в качестве которого возможно использовать навоз крупного рогатого скота и свиней [19-21], куриный помет [22-24], пищевые отходы [25-27], отходы от переработки сельскохозяйственного сырья [28-30] и многие другие органические отходы. Через несколько дней из яиц вылупляются личинки размером до 5 мм, которые развиваются в течение 14-20 дней. За этот отрезок времени личинки Черной львинки 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 могут утилизировать более 50% органического субстрата, превращая его в ценное удобрение.

Когда личинки достигают финальной стадии развития, они превращаются в предкулолок, с последующим окукливанием и превращением в куколки, из которых впоследствии выводятся имаго, и жизненный цикл повторяется. Отличительной чертой личинок *Hermetia illucens* является их состав, включающий, среди прочего, сырой белок, жирные кислоты и хитин. Указывается, что сухое вещество личинок на 32-40% состоит из белков и на 13-42% – жиров, в зависимости от субстрата, на котором они развивались [31; 32].

В составе сухого вещества биомассы личинок *Hermetia illucens* содержатся такие аминокислоты как аргинин, гистидин, лейцин и изолейцин, лизин, фенилаланин, тирозин, валин и др. [33], а также такие кислоты как лауриловая, миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, ленолевая и др. [34].

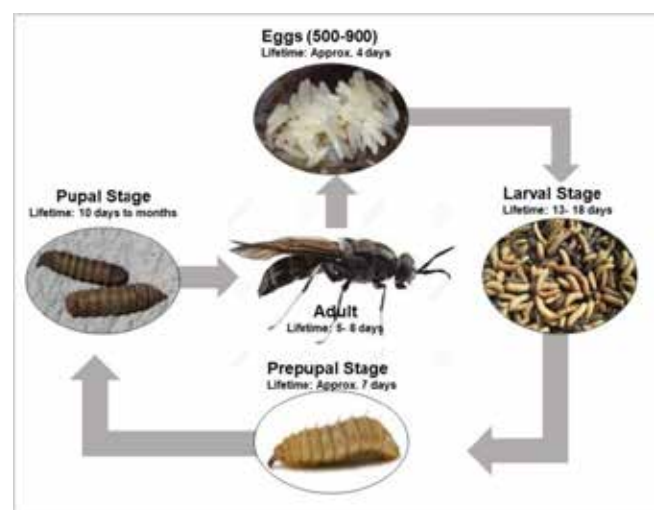
Данное обстоятельство делает высушенную биомассу личинок *Hermetia illucens* весьма питательной, способной заменить, в частности, рыбную муку при кормлении и выращивании рыб в аквакультуре. В данной статье обобщены сведения об использовании муки из высушенных личинок *Hermetia illucens* для выращивания видов рыб, типичных для условий Российской Федерации.

Приведены краткие сведения о жизненном цикле мухи *Hermetia illucens* и использовании биомассы ее личинок в качестве добавки в рационы для выращивания животных, птиц и рыб. Кратко обобщены сведения из зарубежных литературных источников об использовании муки из высушенных личинок *Hermetia illucens* в качестве ингредиентов в рационе, для кормления рыб в условиях аквакультуры с полной или частичной заменой рыбной муки и соевого шрота.

**Форель радужная или микижа (*Oncorhynchus mykiss*)** (рис. 3) – объект промышленного выращивания. Также радужная форель разводится для спортивного и любительского рыболовства. В прудах, при условии постоянного кормления искусственными кормами и питания естественной пищей, она быстро наращивает массу тела до 6-8 кг.

За рубежом проводились многочисленные исследования по изучению возможности замены рыбной муки в рационе *Oncorhynchus mykiss* на 25% и 50% высушенной биомассой личинок *Hermetia illucens*. Большой цикл работ проведен итальянскими исследователями. В течение различных временных периодов выращивались особи рыб с первоначальной массой 66,5±2,3 [35], 137±10,5 [36] и 178,9±9,8 г [37-39]. Количество подаваемого корма составляло от 1,2% до 1,5% от биомассы рыб в каждой емкости [36; 38].

Американскими исследователями проводился цикл работ по кормлению особей радужной форели с начальной средней массой 339,4 г [40] и 1458±34 г [41] с заменой 25% и 50% рыбной муки высушенной биомассой *Hermetia illucens*. Рацион содержал в своем составе 45% белков. Польские исследователи откармливали мальков радужной форели массой 53,4±3,4 г в течение 71 дня кормом (исходно 50% овощи + 50% пшеничных отрубей), в котором 20% заменялось



**Рисунок 2.** Жизненный цикл мухи *Hermetia illucens* [18]

Figure 2. Life cycle of *Hermetia illucens* [18]



мукой из личинок Черной львинки [42]. По окончании экспериментов определялись гистологические изменения во внутренних органах рыб, получавших корм с добавлением биомассы *Hermetia illucens*, с контрольными особями. Указывается, что у рыб, получавших муку из личинок насекомых, наблюдалось повышенное содержание липидов и пониженное – белков. Кроме того, при контрольной дегустации не было выявлено никаких различий, за исключением слегка более темной окраски филе рыб из опытных групп [35].

Выявлено, что кормление мальков радужной форели кормами, содержащими 50% муки из личинок *Hermetia illucens*, снижало желтизну филе и отрицательно влияло на концентрацию аденозинмонофосфата. В составе филе особей из экспериментальных групп увеличилось содержание насыщенных жирных кислот. Не было выявлено никаких изменений в структуре белков, несмотря на то, что содержание миофибрилл уменьшилось у форели, получавшей корм, содержащий 50% биомассы личинок. Результаты показали, что химические изменения, произошедшие в филе, были связаны с химическим составом муки *Hermetia illucens* и ее долей в рационе [43]. В то же время выявлено, что опытные диеты существенно влияют на сенсорный профиль филе форели. Анализ показал существенные изменения воспринимаемой интенсивности аромата, вкуса и текстурных дескрипторов, в зависимости от состава рациона [44].

Физические и химические параметры филе радужной форели были проверены в течение 120 дней хранения в замороженном виде и после приготовления. Филе было получено из особей, получавших корма с заменой диетической рыбной муки на личинок *Hermetia illucens*. Различия в качественных признаках филе появились после 30 дней хранения в замороженном виде, однако они оставались практически неизменными в течение остальных 90 дней. Повышение содержания личинок *Hermetia illucens* в корме не влияло на значение pH, напряжение сдвига, цвет и способность филе удерживать воду [45]. Также указывается, что никаких существенных различий в росте рыб из контрольной и опытных групп не наблюдалось,



**Рисунок 3.** Форель радужная  
**Figure 3.** Rainbow trout

однако у особей, которых кормили кормами с заменой половины рыбной муки на высушенную биомассу личинок мух, выявлены изменения как в печени, так и в кишечнике. Кроме того, в той же группе рыб гены, связанные со стрессом и иммунным ответом, были значительно усилены. Гистология печени и инфракрасная визуализация с использованием ИК-Фурье-спектроскопии выявили увеличение отложения липидов [36]. Также выявлено, что использование муки из личинок *Hermetia illucens* вызывало снижение содержания полиненасыщенных жирных кислот в тканях радужной форели. Определено, что кормление экспериментальными рационами не влияло на выживаемость особей, показатели роста, фактор состояния, соматические показатели и параметры физического качества дорсального филе в опытных группах [37]. Гистопатологическое исследование печени, селезенки и кишечника не выявило побочных эффектов после увеличения доли муки из личинок насекомых в рационе рыб [38].

Выявлено, что использование рациона с содержанием личинок насекомых увеличило альфа-разнообразие бактерий и обилие молочнокислых бактерий в кишечнике радужной форели, что может быть связано с привнесением пищевого хитина в состав муки из личинок мухи «Черная львинка». По сравнению с рыбной мукой, кормление личинками привело к увеличению численности филогенических и актинобактерий с более низким содержанием протеобактерий. Рыба, получавшая жирную пищу, содержала *Corynebacterium*, что объяснялось способностью бактерии продуцировать липазу и высоким содержанием пищевых липидов в качестве субстрата [46].

Кроме того, опыты показали, что особи *Oncorhynchus mykiss*, получавшие корм на основе насекомых, продемонстрировали более высокое видовое разнообразие бактерий с уменьшением протеобактерий по сравнению с рыбой, питавшейся рыбной мукой. Включение в рацион рыб муки из личинок насекомых увеличило количество микоплазмы в кишечнике, что объясняется ее способностью продуцировать молочную и уксусную кислоты в качестве конечных продуктов ферментации. Сделан вывод, что микробиота кишечника форели обусловлена, главным образом, пробиотическими свойствами сбраживаемого хитина [47; 48].

Сделаны выводы, что частично обезжиренную муку из личинок *Hermetia illucens* можно использовать в качестве кормового ингредиента в диете форели [49-51]. В частности, указывается, что в Германии для годового производства радужной форели в объеме 8466 т, для замены 1556 т рыбной муки (70,9% белка в день) требуется 2699 т муки из личинок Черной львинки (40,7% белка в день), а сама потребность в пищевых отходах для питания личинок составляет 22942 т [52].

В рационе радужной форели рекомендуется заменять до 50% рыбной муки биомассой личинок *Hermetia illucens*, т.к. это не оказывает отрицательного влияния на биологические показатели рыбы, включая скорость увеличения веса,

удельный темп роста, коэффициент эффективности белка и др. [53].

Рекомендовано проведение дальнейших исследований по влиянию состава и рациона кормления для минимизации наблюдаемых негативных эффектов при использовании личинок насекомых [35-39].

Другим видом, который широко используется в аквакультуре, является **лосось атлантический или семга (*Salmo salar*)** (рис. 4) – вид лососёвых рыб из рода лососей. Может достигать длины 1,5 м и массы 43 кг. Максимальная продолжительность жизни составляет 13 лет. Один из ценнейших промысловых видов среди лососей является объектом искусственного воспроизводства [54], широко культивируется в странах Скандинавии.

Большой цикл работ по исследованию влияния диетической муки и масла из личинок *Hermetia illucens* на рост, производительность, состав тела и усвояемость питательных веществ атлантического лосося проводился учеными из разных стран. Канадскими исследователями проводилось откармливание мальков лосося массой  $2,8 \pm 0,1$  г кормами, состоящими из концентратов соевого и кукурузного белка, в соотношении 70:30 с заменой 100, 200 и 300 г/кг эталонной смеси мукой из *Hermetia illucens*. Выявлено, что молодь лосося, получавшая корм, содержащий 20% муки из личинок Черной львинки, продемонстрировала показатели роста аналогичные лососям, получавшим контрольную диету. Делается вывод, что включение муки из личинок *Hermetia illucens* в количестве 200 г/кг в рацион для питания атлантического лосося перспективно в качестве дополнительного источника белка в низкокалорийной муке из растительных ингредиентов [55].

Личинки мух «Черная львинка» выращивались на субстрате из пищевых отходов или среды, частично содержащей водоросли аскофиллума узловатого (*Ascophyllum nodosum*). Определено, что содержание пестицидов, диоксинов, микотоксинов, тяжелых металлов, за исключением соединений мышьяка, в субстрате ниже значений, принятых в Евросоюзе [56]. Выявлено, что источником мышьяка были морские водоросли.

Особей из контрольной группы кормили в течение 8 недель типичной диетой, содержащей белок из рыбной муки и соевый белковый концентрат (СБК) в соотношении 50:50, а также липиды из рыбьего жира и растительного масла в соотношении 33:66. В экспериментальных группах по 100 рыб 85% белка заменялись на муку из личинок насекомых, а растительное масло заменялось на масло, выделенное из личинок *Hermetia illucens* [57]. Показано, что наличие муки из личинок Черной львинки в рационе лососей не изменяло потребление корма и содержание липидов в организме рыб. Несмотря на высокое содержание насыщенных жирных кислот в рационах на основе насекомых, коэффициенты переваримости всех жирных кислот были высокими [58].

Выявлено, что замещение рыбной муки высушенной биомассой личинок не ухудшает качество филе лосося [59]. Кроме того, зафиксировано уве-



**Рисунок 4.** Лосось атлантический

**Figure 4.** Atlantic salmon

личение содержания полиненасыщенных жирных кислот в составе филе лососей из экспериментальной группы [60]. Так же определено, что замена рыбной муки в рационе рыб личинкой *Hermetia illucens* не влияет на состояние кишечника атлантического лосося [61].

Замена диетической рыбной муки и СБК на белок насекомых значительно увеличило как гепатосоматический индекс, так и висцеральный соматический индекс атлантического лосося. Включение личинок *Hermetia illucens* в рацион не влияло на протеиназную активность в кишечнике рыб, в то время как активность лейцин-аминопептидазы была ниже у рыб, получавших ингредиенты насекомых, чем в контрольной группе. Показано, что содержание белка, липидов, аминокислот и минералов в организме не зависит от источника белка или липидов [57]. У лосося, питавшегося экспериментальной диетой, отмечено уменьшение размеров печени по сравнению с контрольными особями. Предполагается, что данное обстоятельство связано с быстрым окислением лауриновой кислоты [58; 62]. Изучалось влияние замены рыбной муки на муку из личинок на генные реакции, связанные с воспалением, эйкозаноидным путем и реакцией рыб на стресс в изолированных лейкоцитах, выделенных из головы лососей после бактериального или вирусного воздействия. Сделан вывод, что замена рыбной муки на муку из личинок *Hermetia illucens* в диете для кормления атлантического лосося не влияла на транскрипцию генов в клетках головы рыб [63; 64]. Определено, что особи, питавшиеся мукой из насекомых, имеют повышенную экспрессию генов, свидетельствующую о стрессовой реакции, иммунной толерантности и повышенной активности детоксикации [65].

В целом, исследования показали, что белковая мука и масло из личинок *Hermetia illucens* имеют большой потенциал в качестве источника питательных веществ для выращивания атлантического лосося.

Следующий вид, который выращивается в аквакультуре за рубежом и в Российской Федерации, – **осетр сибирский *Acipenser baerii* (Brandt)** (рис. 5).

Исследовано влияние замены рыбной муки на обезжиренный шрот из личинок *Hermetia illucens* на показатели роста, биометрические и морфометрические показатели, кажущуюся усвояемость рационов, составы проксимальных и жирных кислот ювенильных особей *Acipenser baerii* (Brandt). В экспериментальных группах осетра сибирского особи массой  $24,2 \pm 7,59$  г питались в течение 118 дней кормом, в котором рыбная мука на 25, 50 и 100% заменялась шротом из личинок мухи «Черная львинка». Диета со 100% заменой рыбной муки на шрот из *Hermetia illucens* была отвергнута рыбой. Выявлено, что диета с 50% шрота из личинок насекомого негативно повлияла на показатели роста рыбы. Повышение содержания шрота в рационе привело к увеличению содержания сухого вещества и эфирного экстракта во всем организме осетров. Диеты, содержащие шрот из личинок мухи *Hermetia illucens*, вызывали увеличение содержания лауриновой кислоты (в 65 раз) и общего содержания насыщенных жирных кислот (в 1,4 раза) во всем теле рыб [66].

Сделан вывод, что в рационе осетра сибирского возможно заменить до 25% рыбной муки на обезжиренный шрот из *Hermetia illucens*, что составляет 18,5% от массы корма без изменений показателей роста, фактора состояния, биометрических и морфометрических показателей [66]. Результаты проведенных исследований показывают, что диеты, включающие шрот из личинок мух, не влияют на гистологию печени и кишечника, что позволяет включать до 18,5% обезжиренного шрота в корм без ущерба для здоровья осетровых [67]. Также отмечается, что диета, включающая муку из личинок *Hermetia illucens*, положительно влияет на состав кишечной микробиоты и кишечника особей рыб [68].

К рыбам, которые разводятся в прудовых хозяйствах Российской Федерации, относятся карповые. В мировой литературе есть несколько публикаций по выращиванию карповых в аквакультуре, с использованием в рационе муки из личинок мухи Черная львинка. Исследовано влияние дозирования муки из личинок *Hermetia illucens* в рационе для кормления молоди **зеркального карпа** (*Cyprinus carpio var. specularis*) весом  $13,68 \pm 0,02$  г в течение 8 недель. Содержание муки в экспериментальных кормах составило 43,7, 87,3, 131



Рисунок 5. Осетр сибирский

Figure 5. Siberian sturgeon

и 174,7 г/кг. Выявлено, что показатели роста молоди карпа и использование питательных веществ не различалось среди групп. Определено, что увеличение доли муки из личинок мухи в рационе значительно снижало содержание липидов в организме молоди карпа, но увеличивало значение почечного индекса. Увеличение доли муки из личинок *Hermetia illucens* в рационе карпа значительно повышало активность каталазы в сыворотке и снижало содержание малонового альдегида. Среди всех экспериментальных групп не наблюдалось существенных различий в активности кишечного трипсина, липазы и амилазы. Сделан вывод, что содержание муки из личинок насекомого ниже 131 г/кг корма не влияет на рост и состояние кишечника рыб [69].

Также оценено влияние содержания муки из личинок мухи «Черная львинка» на ростовые и другие показатели **амурского карпа** (*Cyprinus carpio*). В экспериментальных диетах рыбная мука на 30, 70 и 100% заменялась биомассой высушенных личинок *Hermetia illucens*. Кормление осуществлялась дважды в день в объеме 10% от массы особей. Выявлено, что полная замена рыбной муки приводит к более низкому росту рыб и, соответственно, более низкой массе экспериментальных особей по сравнению с контрольными образцами. Результаты исследования показывают, что замена до 70% рыбной муки на муку из личинок насекомого не влияет на рост и выживание молоди амурского карпа [70].

Молодь карпа-кои (*Cyprinus carpio var. Jian*) со средней начальной массой тела 34,78 г кормили диетической пищей, в которой 25, 50, 75 и 100% рыбной муки заменялось обезжиренным шротом личинки *Hermetia illucens*. По результатам исследований выяснили, что показатели роста и использования питательных веществ в пяти группах были сопоставимыми. Гистологическое исследование кишечника карпов показали, что при замене более 75% рыбной муки наблюдались патологические изменения, например, разрушения тканей в кишечнике. Сделан вывод, что в рационе карпов-кои возможна замена 50% рыбной муки на обезжиренный шрот из личинок мухи «Черная львинка» [71].

Кроме рыбной муки, маслом из личинок *Hermetia illucens* на 25, 50, 75 и 100% заменяли соевое масло в рационе молоди карпов-кои с начальной массой  $10,67 \pm 0,8$  г. Установлено, что масло из личинок насекомых способствует снижению отложения липидов во внутрибрюшинной жировой ткани карпов из экспериментальных групп, а индекс внутрибрюшинного жира снижается при увеличении доли масла из насекомых, по сравнению с особями из контрольной группы [72].

Кроме исследований вышеназванных видов рыб, за рубежом проводились эксперименты по оценке возможности использования в качестве ингредиента в кормах биомассы личинок *Hermetia illucens* для выращивания в аквакультуре лаврака обыкновенного (*Dicentrarchus labrax*) [73-76]; лаврака японского (*Lateolabrax japonicus*) [77; 78]; молоди барамунди (*Lates calcarifer*) [79-81];



сомов – канального (*Ictalurus punctatus*) [82; 83], африканского [84], желтого [85]; серебристого горбыля (*Argyrosomus regius*) [86]; нильской тиляпии [82; 83; 87] и других видов рыб.

Учитывая тот факт, что в Российской Федерации существуют предприятия по выращиванию личинок *Hermetia illucens*, и их число расширяется, становится актуальным их использование в качестве добавки в корма для выращивания рыб различных видов в аквакультуре.

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

### ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Closing the high seas to fisheries: Possible impacts on aquaculture / D.P. Martinell et al. // Marine Policy. 2020. № 103854.
- Turchini G.M., Trushenski J.T., Glencross B.D. Thoughts for the future of aquaculture nutrition: realigning perspectives to reflect // North American Journal of Aquaculture. 2019. vol. 81. P. 13-39.
- State-of-the-art on use of insects as animal feed / H.P.S. Makkar et al. // Animal Feed Science and Technology. 2014. vol. 197. P. 1-33.
- Barragan-Fonseca K.B., Dicke M., van Loon J.J.A. 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(2). P. 105-120.
- van Huis A., Oonincx D.G.A.B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2017. vol. 37. 43. 14 p.
- The potential role of insects as feed: A multi-perspective review / G. Sogari et al. // Animals. 2019. vol. 9. 119. 15 p.
- de Carvalho N.M., Madureira A.R., Pintado M.E. The potential of insects as food sources – a review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. DOI: 10.1080/10408398.2019.1703170.
- van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security // Annual Review of Entomology. 2013. vol. 58. P. 563-583.
- Edible Insects in the Food Sector. G. Sogari, C. Mora, D. Menozzi editors. Springer Nature, Switzerland AG. 2019. 128 p.
- Siyah asker sineğinin (*Hermetia illucens* L.) yem kaynağı olarak değerlendirilmesi / U. Sevilmiş et al. // Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2019. vol. 9(4). P. 2379-2389.
- Chodová D., Tůmová E. Insects in chicken nutrition. A review // Agronomy Research. 2020. vol. 18. 17 p.
- Edible insects as a food source: a review / C. Tang et al. // Food Production, Processing and Nutrition. 2019. vol. 1(8). 13 p.
- Using of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in fish nutrition / S. Čengić-Džomba et al. // 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry «AgriConf 2019». 2019. P. 132-140.
- Development of black soldier fly larvae production technique as an alternate fish feed / K.M.S. Rana et al. // International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture. 2015. vol. 5(1). P. 41-47.
- Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future / M. Henry et al. // Animal Feed Science and Technology. 2015. vol. 203. P. 1-22.
- Insect meals in fish nutrition / S. Nogales-Merida et al. // Reviews in Aquaculture. 2019. vol. 11. P. 1080-1103.
- Feeds for the aquaculture sector. Current situation and alternative sources. By L. Gasco et al. editors. Springer Nature, Switzerland AG. 2018. 111 p.
- Singh A., 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. 109569.
- Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges / B. Pastor et al. // Journal of Insects as Food and Feed. 2015. vol. 1(3). P. 179-193.
- Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) for biodiesel and sugar production / Q. Li. et al. // Waste Management. 2011. vol. 31(6), P. 1316-1320.
- Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.), (*Diptera: Stratiomyidae*) reared on horse and sheep manure / U. Julita et al. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. vol. 187. 012071. 8 p.
- Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (*Diptera: Stratiomyidae*) larvae and functional bacteria / X.P. Xiao et al. // Journal of Environmental Management 2018. vol. 217. P. 668-676.
- 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 // Journal of Insects as Food and Feed. 2015. vol.1(2). P. 131-139.
- Studies regarding the fertilizing capacity of poultry manure biocomposted by fly larvae (*Diptera: Stratiomyidae*) / A. Boaru et al. // AAB Bioflux. 2018. vol. 10(3). P. 114-121.
- Paz A.S.P., Carrejo N.S., Rodriguez C.H.G. 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. P. 1059-1065.
- Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production / L. Zheng et al. // Renewable Energy. 2012. vol. 41. P. 75-79.
- Ritika P., 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(4). P. 38-45.
- Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), *Diptera: Stratiomyidae*) larvae / A. Isibika et al. // Waste Management 2019. vol. 100. P. 151-160.
- Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (*Diptera: Stratiomyidae*) larvae / C. Jucker et al. // Environmental Entomology, 2017. vol. 46(6). P. 1415-1423.
- Attigobe F.K., Ayim N.Y.K., Martey J. Effectiveness of black soldier fly larvae in composting mercury contaminated organic waste // Scientific African. 2019. vol. 6. e00205. 10 p.
- An open system for farming black soldier fly larvae as a source of proteins for small scale poultry and fish production / E.M. Nyakeri et al. // Journal of Insects as Food and Feed. 2017. vol. 3(1). P. 51-56.
- Wang Y., Shelomi M. Review of Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food // Foods. 2017. vol. 6. 91. 23 p.
- Liu C., Wang C., Yao H. Comprehensive resource utilization of waste using the Black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.) (*Diptera: Stratiomyidae*) // Animals. 2019. vol. 9. 349. 19 p.
- Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure / N. Moulda et al. // Animal Nutrition. 2018. vol. 4. P. 73-78.
- Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm / T. Stadtländer et al. // Journal of Insects as Food and Feed. 2017. vol. 3(3). P. 165-175.
- Effects of graded dietary inclusion level of full-fat *Hermetia illucens* prepupae meal in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / G. Cardinaletti et al. // Animals. 2019. vol. 9. № 251. 19 p.
- Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source / L. Bruni et al. // Aquaculture. 2018. vol. 487. P. 56-63.
- Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets / M. Renna et al. // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2017. vol. 8. 57. 13 p.
- Influence of *Hermetia illucens* meal dietary inclusion on the histological traits, gut mucin composition and the oxidative stress biomarkers in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / A.C. Elia et al. // Aquaculture. 2018. vol. 496. P. 50-57.
- Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* / S. St-Hilaire et al. // Journal of the World Aquaculture Societe. 2007. vol. 38(1). P. 59-67.
- Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched Black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens* / W.M. Sealey et al. // Journal of the World Aquaculture Societe. 2011. vol. 42(1). P. 34-45.
- The utilization of full-fat insect meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) nutrition: the effects on growth performance, intestinal microbiota and gastrointestinal tract histomorphology / A. Józefiak et al. // Annals of Animal Science. 2019. vol. 19(3). P. 747-765.
- Impact of black soldier fly larvae meal on the chemical and nutritional characteristics of rainbow trout fillets / S. Mancini et al. // Animal. 2018. vol. 12(8). P. 1672-1681.
- Inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on sensory profile according to static and dynamic evaluations / M. Borgogno et al. // Science of Food and Agriculture. 2017. vol. 97(10). P. 3402-3411.

45. Can the inclusion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) in diet affect the flesh quality/nutritional traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after freezing and cooking? / G. Secci et al. // International Journal of Food Science and Nutrition. 2019. vol. 70(2). P. 161-171.
46. High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*) / D. Huyben et al. // Aquaculture. 2019. vol. 500. P. 485-491.
47. The effects of dietary insect meal from *Hermetia illucens* prepupae on autochthonous gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / S. Rimoldi et al. // Animals. 2019. vol. 9. 143. 17 p.
48. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet / G. Terova et al. // Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2019. vol. 29. P. 465-486.
49. Potentials of a biogenic residue-based production of *Hermetia illucens* as fish meal replacement in aquafeed for *Oncorhynchus mykiss* in Germany / B.A. Rumpold et al. // Journal of Insects as Food and Feed. 2018. vol. 4(1). P. 5-18.
50. Using of Black soldier fly (*Hermetia Illucens*) larvae meal in fish nutrition / S. Čengić-Džomba et al. // 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry «AgriConf 2019». 2019. vol. 78. P. 132-140.
51. Cui X. Baltic blue mussel (*Mytilus edulis* L.) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) combined with pea protein concentrate as protein sources in feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Master's thesis. Uppsala, Sweden 2019. 33 p.
52. Potentials of a biogenic residue-based production of *Hermetia illucens* as fish meal replacement in aquafeed for *Oncorhynchus mykiss* in Germany / B.A. Rumpold et al. // Journal of Insects as Food and Feed. 2018. 4(1). P. 5-18.
53. Effect of dietary partial replacement of fishmeal by prepupae meal of black soldier fly *Hermetia illucens* in final quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* flesh / A. Basto // European Aquaculture Society Meeting Abstract «Aquaculture Europe 2015», Netherlands, Rotterdam, 2016. 3 p.
54. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Атлантический\\_лосось](https://ru.wikipedia.org/wiki/Атлантический_лосось).
55. Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) / H.J. Fisher et al. // Aquaculture. 2020. vol. 521. 734978. 9 p.
56. Replacing fish meal with insect meal in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) does not impact the amount of contaminants in the feed and it lowers accumulation of arsenic in the fillet / I. Biancarosa et al. // Food Additives & Contaminants: Part A. 2019. vol. 36(8). P. 1191-1205.
57. Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) / I. Belghit et al. // Aquaculture. 2018. vol. 491. P. 72-81.
58. Insect based diets high in lauric acid reduce liver lipids in freshwater Atlantic salmon / I. Belghit et al. // Aquaculture Nutrition. 2019. vol. 25. P. 343-357.
59. Lock E.R., Arsiwalla T., Waagbo R. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolt // Aquaculture Nutrition. 2016. vol. 22. P. 1202-1213.
60. Total replacement of dietary fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae does not impair physical, chemical or volatile composition of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) / L. Bruni et al. // Journal of the Science of Food and Agriculture 2020. vol. 100. P. 1038-1047.
61. Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*) / Y. Li et al. // Aquaculture. 2020. vol. 520. 734967. 9 p.
62. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*) / I. Belghit et al. // Aquaculture. 2019. vol. 503. P. 609-619.
63. Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induced gene response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leukocytes / O.K. Stenberg et al. // Fish and Shellfish Immunology. 2019. vol. 91. P. 223-232.
64. Stenberg O.K. In vitro bacterial and viral response in head kidney leukocytes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed dietary insects meal. Thesis for the degree Master of Science in Aquamedicine, Norway. University of Bergen, 2018. 62 p.
65. Gut health and vaccination response in pre-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal / Y. Li et al. // Fish and Shellfish Immunology. 2019. vol. 86. P. 1106-1113.
66. First insights on Black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal dietary administration in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) juveniles / C. Caimi et al. // Aquaculture. 2020. vol. 515. 734539. 10 p.
67. Could dietary Black Soldier fly meal inclusion affect the liver and intestinal histological traits and the oxidative stress biomarkers of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) juveniles? / C. Caimi et al. // Animals. 2020. vol. 10. 155. 15 p.
68. Effects of insect diets on the gastrointestinal tract health and growth performance of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) / A. Józefiak et al. // BMC Veterinary Research. 2019. vol. 15. 348. 11 p.
69. Influence of dietary black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) pulp on growth performance, antioxidant capacity and intestinal health of juvenile mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *specularis*) / X. Xu et al. // Aquaculture Nutrition. 2020 vol. 26(2). P. 432-443.
70. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diet for amur carp (*Cyprinus carpio*) / P. Panikkar et al. // Journal of the Inland Fisheries Society of India. 2018. vol. 50(2). P. 33-38.
71. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure / S. Li et al. // Aquaculture. 2017. vol. 477. P. 62-70.
72. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*) / S. Li et al. // Aquaculture. 2016. vol. 465. P. 43-52.
73. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal on growth performance, organs-somatic indices, body composition, and hematobiochemical variables of European sea bass, *Dicentrarchus labrax* / M. Abdel-Tawwab et al. // Aquaculture. 2020. vol. 522. 735136. 8 p.
74. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) / R. Magalhães et al. // Aquaculture. 2017. vol. 476. P. 79-85.
75. Basto A., Matos E., Valente L.M.P. Nutritional value of different insect larvae meals as protein sources for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles // Aquaculture. 2020. vol. 521. 735085. 10 p.
76. Insect meal in the fish diet and feeding cost: first economic simulations on European Sea bass farming by a case study in Italy / P. Pulina et al. // 30 th Conference of Agricultural Economists. Canada, Vancouver. 2018. 275929. 17 p.
77. Evaluation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as an alternative protein ingredient for juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) diets / G. Wang et al. // Aquaculture. 2019. vol. 507. P. 144-154.
78. Effect of fish meal replacement by Black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal on growth performance, body composition, plasma biochemical indexes and tissue structure of juvenile *Lateolabrax japonicus* / J. Hu et al. // Chinese Journal of Nutrition. 2018. vol. 30(2). P. 613-623 (in Chinese).
79. Insect larvae, *Hermetia illucens* in poultry by-product meal for barramundi, *Lates calcarifer* modulates histomorphology, immunity and resistance to *Vibrio harveyi* / M.R. Chaklader et al. // Scientific Reports. 2019. vol. 9. 16703. 10 p.
80. Efficacy of insect larval meal to replace fish meal in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* reared in freshwater / K. Katya et al. // International Aquatic Research. 2017. vol. 9. P. 303-312.
81. Sen S. Evaluation on brewery yeast and insect meal (black soldier fly and chicken meal) to replace trash fish in the diet for Asian seabass (*Lates calcarifer*) in Combogia, Doctoral thesis, Sweden, Uppsala, 2019. 84 p.
82. Bondari K., Sheppard D.C. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production // Aquaculture. 1981. vol. 24. P. 103-109.
83. Bondari K., Sheppard D.C. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner) // Aquaculture and Fisheries Management. 1987. vol. 18. P. 209-220.
84. 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 / F.J. Fawole et al. // Aquaculture. 2020. vol. 518. 734849. 7 p.
85. 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*) / X. Xiao et al. // Aquaculture Research. 2018. vol. 49. P. 1569-1577.
86. Catching Black soldier fly for meagre: growth, whole-body fatty acid profile and metabolic responses / I. Guerreiro et al. // Aquaculture. 2020. vol. 516. 734613. 7 p.
87. Bokau R.J.M., Basuki T.P. Bungkil inti sawit sebagai media biokonversi produksi massal larva maggot dan uji respon pemberian pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) // Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian VII Polinela 2018. P. 122-128 (in Indonesian).