

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛИЧИНОК МУХИ *HERMETIA ILLUCENS* (КРАТКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

Шайхиев И.Г.<sup>1</sup>, Свергузова С.В.<sup>2</sup>, Сапронова Ж.А.<sup>3</sup>, Антюфеева Е.С.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, e-mail: ildars@inbox.ru

<sup>2</sup>Белгородский Государственный Технологический Университет им. ВГ. Шухова,  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: <sup>2</sup>pe@intbel.ru, <sup>3</sup>sapronova.2016@yandex.ru, <sup>4</sup>E-lektr-a@yandex.ru

**Аннотация.** Кратко обобщены сведения зарубежных литературных источников по использованию органических пищевых отходов потребления, некондиционных пищевых продуктов, образующихся на объектах торговли, а также их смесей в составе твердых коммунальных отходов в качестве субстратов для выращивания личинок и предкуколок мухи вида *Hermetia illucens*. Также показана возможность использования в качестве субстрата специфических отходов, таких, как, в частности, отходы от переработки морепродуктов и грибов. Показано, что личинки и предкуколки *Hermetia illucens* способствуют высокой конверсии органического субстрата в биомассу личинок и эффективности переработки отходов с уменьшением их массы и объема. Личинки *Hermetia illucens*, выращенные на органических субстратах, характеризуются в большинстве случаев, высоким содержанием насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, а также белков. Компост, образующийся после био конверсии органических субстратов с использованием личинок *Hermetia illucens*, содержит высокое количество биогенных элементов и может использоваться в качестве удобрения или грунта для выращивания комнатных растений и сельскохозяйственных культур. Выявлено, что переработка органических пищевых отходов способствует существенному снижению эмиссии парниковых газов по сравнению с простым компостированием или анаэробным сбраживанием.

**Ключевые слова:** пищевые отходы, некондиционные пищевые продукты, субстрат, личинки мухи вида *Hermetia illucens*, переработка.

Население планеты Земля по прогнозам аналитиков составляет в настоящее время около 7 млрд. человек и продолжает увеличиваться. Естественно, данное обстоятельство способствует образованию огромного количества различных отходов промышленного и бытового происхождения. Особым видом отходов являются пищевые отходы, которые составляют, как указывается, треть от мирового объема производства продуктов питания. Пищевые отходы образуются на всех этапах - от производства продуктов питания до потребления их населением.

Опасность пищевых отходов заключается в том, что они, загнивая в местах накопления, существенно ухудшают экологическую обстановку, способствуя появлению неприятных запахов. Кроме того, сообщается, что пищевые отходы являются третьим по величине источником глобального производства диоксида углерода и производят более чем вдвое больше диоксида углерода, производимого всеми наземными видами транспорта в Соединенных Штатах Америки [1].

Наиболее распространенным способом обращения с пищевыми отходами является их захоронение в составе твердых коммунальных отходов (ТКО) на полигонах, на которых органические пищевые отходы, загнивая, служат источником образования токсичных свальных вод и дурно пахнущих газовых выбросов.

Существует множество способов переработки и утилизации пищевых отходов, таких как анаэробное сбраживание для производства биогаза, компостирование и вермикомпостирование, сжигание, извлечение биологически активных соединений, получение биодизельного топлива, карбонизация и получение активированных углей и др. [2-10].

В настоящее время в мировом сообществе интенсивно развивается новое инновационное направление – использование органических отходов производства и потребления в качестве субстрата для выращивания насекомых [11-20].

Высушенная биомасса насекомых используется в качестве белковой добавки взамен некоторой части рыбной и/или соевой муки в рационах для выращивания домашних сельскохозяйственных животных [21-27], птиц (цыплята, индюшки, перепела) [28, 29] и различных видов рыб [30-35] в аквакультуре.

Рекомендовано использование в качестве добавок в кормовые смеси для выращивания животных, птиц и рыб биомассы 7 следующих видов насекомых: личинки и/или куколки двукрылой мухи (*Hermetia illucens*), домашней мухи (*Musca domestica*), личинки мучного червя (*Tenebrio molitor*), саранча и кузнечики (*Acrididae*), сверчки (*Gryllidae*) и катидиды (*Tettigoniidae*) и куколки тутового

шелкопряда (*Bombyx mori*) [35]. Первые три хорошо развиваются и выращиваются на различных органических субстратах, в том числе и на пищевых отходах.

Как показывает анализ литературных источников, наибольший выход биомассы за более короткое время достигается при выращивании личинок и куколок двукрылой мухи вида *Hermetia illucens* из семейства львинковых (*Stratiomyia chamaeleon*). Последняя в естественных условиях, в основном, распространена в тропиках и субтропиках. В России носит название «Черная львинка», за рубежом – «Черный солдат». Название указывает на цвет взрослых особей мужского и женского родов. Тело взрослых мух черного цвета, голени и лапки – белого цвет.

Жизненный цикл мух *Hermetia illucens* включает в себя несколько фаз развития [35]. После вылупления мух из куколок, взрослые особи спариваются на третий день жизни и через несколько дней самка откладывает во влажный, содержащий органические вещества субстрат до 1000 яиц. Через несколько дней из них вылупляются личинки насекомого размерами до 5 мм, которые развиваются в течение 14-20 дней. За этот отрезок времени личинки Черной львинки усиленно усваивают органический субстрат, увеличивая свои размеры до 30 мм в длину, до 6 мм в ширину и, соответственно, биомассу. Многочисленными исследованиями выявлено, что личинки *Hermetia illucens* могут утилизировать более 50 % органического субстрата, превращая его в ценное органическое удобрение. Когда личинки достигают финальной стадии развития, они превращаются в предкуколок, последние окукливаются и превращаются в куколки, из которых впоследствии выводятся взрослые особи мух и жизненный цикл повторяется.

Отличительной чертой личинок *Hermetia illucens* является их состав, который состоит из сырого белка, жирных кислот, хитина и др. Указывается, что сухое вещество личинок на 32-40 % состоит из белков и на 13-42 % - жиров в зависимости от субстрата, на котором они развивались [36]. В составе сухого вещества биомассы личинок *Hermetia illucens* содержатся такие аминокислоты как аргинин, гистидин, лейцин и изолейцин, лизин, фенилаланин, тирозин, валин и другие [37], а также такие кислоты как лауриловая, миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, ленолевая и др. [38, 39].

Сравнение финансовых затрат показало, что переработка органических отходов, в том числе и просроченной продукции из торговых точек, путем выращивания личинок Черной львинки в экологическом и экономическом аспектах выгоднее, чем сжигание и анаэробное сбраживание и сопоставимо с затратами на компостирование [40, 41]. Также определено, что личинки *Hermetia illucens* утилизируют пищевые отходы быстрее, чем дождевые черви [42].

Многочисленными исследованиями установлено, что личинки *Hermetia illucens* могут использовать в качестве субстрата для увеличения своей биомассы многие органические отходы, такие как навоз крупного рогатого скота и птичий помет, отходы от переработки сельскохозяйственной продукции (барда, шрот и т.д.) и сами сельскохозяйственные отходы (солома, мучка, листья, оболочки фруктов и овощей и т.д.), избыточный активный ил, отходы от переработки рыб, мидий и многие другие [43-50]. В этом обзоре кратко обобщены сведения из зарубежных литературных источников по выращиванию личинок *Hermetia illucens* на пищевых отходах различного происхождения и состава.

*Пищевые отходы от предприятий общественного питания.* Органические отходы, в том числе и пищевые, делятся на мягкие и твердые органические отходы. Как правило, мягкие органические отходы перерабатываются с использованием технологии компостирования для производства компоста и анаэробного сбраживания для производства биогаза с участием микроорганизмов [51]. Твердые органические отходы трудно разрушить микроорганизмами, поэтому с ними необходимо обращаться с помощью технологий термического преобразования, включая пиролиз, газификацию и сжигание для производства электроэнергии, газа, жидкости (бионефть и жидкий дым) и древесного угля [52].

Отличительной чертой пищевых отходов является непостоянство их состава, широкий ассортимент входящих в них ингредиентов, что не позволяет адекватно сравнивать результаты исследований различных публикаций.

Тем не менее, указывается, что комбинированные субстраты для выращивания личинок *Hermetia illucens* способствуют более высокой их конверсии по сравнению с однокомпонентными субстратами [53] и достижению более высокой массы личинок по сравнению с таковыми, выращенными на другой кормовой базе [54-56]. Также указывается, что при выращивании личинок Черной львинки на смесевых многокомпонентных отходах, в том числе пищевых, достигаются наибольшие показатели производительности процесса, такие как выживаемость личинок, скорость биоконверсии субстрата, сокращение массы отходов, степень конверсии отходов и белков [57, 58]. В частности выявлено, что среднее значение массы личинок, выращенных на многокомпонентных отходах, составило 43,5 мг сухого вещества и 40,1 мг сухого вещества для личинок, выращенных на индивидуальных отходах [57].

Определено, что вес личинок *Hermetia illucens* влияет на профиль жирных кислот личинок. В основном, личинки с большей массой имели более высокий процент содержания насыщенных жирных кислот и более низкий процент ненасыщенных жирных кислот, таких как эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты [58].

Выявлено, что если основной целью процесса является получение биомассы личинок мухи *Hermetia illucens*, масса субстрата должна составлять от 95 до 163 мг на личинку в день при плотности личинок от 1,2 до 5 штук на см<sup>2</sup>. Определено, что в данных условиях производится до 1,1 кг компоста и 59 г сухой биомассы личинок с одного м<sup>2</sup> площади в день [59]. Температура окружающей среды должна составлять при этом более 21 °С. При этой температуре 800 личинок насекомого потребляют 1 кг субстрата в неделю. При более низкой температуре личинки также потребляют субстрат, но с меньшей скоростью и интенсивностью. Также определено, что условия для разведения личинок *Hermetia illucens* более требовательны, в частности, требуется температура не ниже 26 °С и освещение 80 Вт/м<sup>2</sup> [60].

Тем не менее, указывается, что пригодность субстратов для развития личинок мухи «Черная львинка» зависит от множества различных факторов. Помимо химического состава и содержания питательных веществ, физические свойства субстрата, такие как плотность, пористость, высота слоя или соотношение твердого вещества в жидкой фракции может иметь значительное влияние на продуктивность личинок [61]. Найдено, что скорость био конверсии пищевых отходов увеличивается при уменьшении размеров частиц субстрата [62]. Выявлено, что фактором, ограничивающим развитие личинок *Hermetia illucens*, является содержание клетчатки в субстрате более 7 %. Кроме того, определено, что повышенное содержание углеводов в субстрате (более 500 г/кг субстрата) облегчает накопление жирных кислот и белков в организме личинок насекомого и в сочетании с клетчаткой влияют на рост и развитие личинок, определяя массовую долю белка в теле личинок [63].

В процессе биодеградации органического субстрата принимают участие, наравне с личинками *Hermetia illucens* различные виды микроорганизмов, однако, определено, что микробиота кишечника личинок насекомого не была затронута микробным сообществом субстрата. Выявлено, что доминирующими представителями были микроорганизмы родов *Proteobacteria*, *Firmicutes* и *Bacteroidetes* [64].

Как говорилось выше, в результате развития личинок мухи «Черная львинка» пищевые отходы преобразуются в субстрат, причем в процессе жизнедеятельности личинок насекомого наблюдается уменьшение содержания углерода за счет выделения СО<sub>2</sub> и увеличивается содержание соединений азота. В частности, соотношение С:N в начале процесса био конверсии пищевых отходов составлял С:N = 20,31, после 60-ти дней компостирования – 8,23 [65]. В то же время определено, что выбросы СН<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O в процессе био конверсии пищевых отходов личинками *Hermetia illucens* составляют 0,38 кг в пересчете эквивалент СО<sub>2</sub> на тонну субстрата, что несоизмеримо меньше количества СО<sub>2</sub>, выбрасываемого в атмосферу при гниении пищевых органических остатков (96 г/кг отходов) [66].

В процессе компостирования субстрата с использованием личинок *Hermetia illucens* наблюдается увеличение содержания биогенных элементов. В частности, показано увеличение содержания азота, фосфора и калия в компосте на 41,2 %, 32,4 % и 77,1 % соответственно [67]. При этом степень конверсии субстрата составила более 50 %. Также выявлено снижение содержания мышьяка, кадмия, железа, свинца и никеля в компосте до приемлемого уровня в соответствии с локальными и международными стандартами [67, 68]. Указывается, что остаточная масса компоста после био конверсии личинками может быть использована в качестве удобрений для выращивания сельскохозяйственных культур или горшечных растений [69]. В частности, определено, что химический состав и темпы роста капусты, выращенной на компосте из насекомых, практически идентичны таковым показателям растений, выращенных на коммерческих удобрениях. Делается вывод, что компост, полученный из пищевых отходов путем био конверсии личинками мухи «Черная львинка», будет идеальным заменителем коммерческих удобрений [70].

Экономическими расчетами определено, что стоимость оборудования и эксплуатационные расходы на выращивание личинок *Hermetia illucens* на пищевых отходах в 50 и 6 раз соответственно ниже, чем культивирование микроводорослей *Chlorella pyrenoidosa* на аналогичном субстрате [71].

*Отходы фруктов и овощей.* Другим видом органических отходов являются испорченные и некондиционные фрукты и овощи, которые образуются в результате хранения, транспортировки и переработки на рынках и торговых центрах и магазинах. В зависимости от условий образования, фруктовые и овощные отходы могут быть как индивидуальные, так и смесевые. В большинстве случаев отходы с торговых точек требуют сортировки, т.к. наряду с органической составляющей в отходах

может находиться упаковка. Кроме того, в отличие от пищевых отходов, отходы фруктов и овощей не проходили термическую обработку.

Исследовано выращивание личинок *Hermetia illucens* на мякоти авокадо и смеси авокадо с тофу в соотношении 1:1 с целью получения белкового гидролизата. Выращивание личинок осуществлялось в течение 27 дней при 19-38,5 °С и влажности воздуха 34,9 - 99,2% при интенсивности света 0,03-46,8 Вт/м<sup>2</sup>. Найдено, что в протеиновых гидролизатах, полученных при выращивании на мякоти авокадо и смеси последней с тофу преобладали лизин (9,14; 9,4 %), валин (7,93; 8,5 %) и лейцин (6,14; 7,2 %), соответственно [72].

Отходы с рынка: растительные (салат, листья капусты, зелень горчицы), фруктовые (бананы, авокадо, ананасы) и рыбные (субпродукты, кости) использовались в качестве субстратов для выращивания личинок Черной львинки в течение 21 дня. Определено, что степень конверсии субстрата зависит от его состава и составила для растительных отходов 51,91%, смеси фруктов с рыбными отходами - 48,73 % и 39,91 % для рыбных субпродуктов. Соответственно, прирост биомассы составил 33,29, 27,32 и 20,73 мг/личинка в день [73].

В качестве субстрата для выращивания личинок *Hermetia illucens* исследовались фруктовые отходы с рынка (смесь арбузов и папайи, преимущественно), кожура бананов, отходы пивоварения и избыточный активный ил. Выявлено, что выращивание на фруктовых отходах способствует получению личинок с наибольшей массой в таблице 1 [74].

Таблица 1.

Значения массы личинок *Hermetia illucens*, содержание белков и жиров, выращенных на различных субстратах [74]

Субстрат	Средняя масса личинки, г	*Выход биомассы личинок, г	Содержание белков, %	Содержание жиров, %
Фруктовые отходы	0,101	196,9	36,1	35,9
Банановая кожура	0,055	108,9	34,9	38,0
Отходы пивоварения	0,078	154,8	43,0	27,2
Избыточный активный ил	0,070	138,7	45,4	18,1

\*Количество личинок – 2000 шт, масса субстрата – 4,95 кг

Чтобы изучить влияние рациона на продуктивность и химический состав насекомых, личинок Черной львинки выращивали на следующих отходах: 1) фруктовые (яблоко, груша и апельсин), 2) овощные (салат, стручковая фасоль, капуста) и 3) смесь 1 и 2. Найдено, что вес личинок, выращенных на смешанных фруктах и овощах, был ниже, чем на других диетах. Но куколки, выращенные на смешанной диете, были самыми тяжелыми, а морфометрические показатели взрослых особей были самыми высокими. Личинки, выращенные на фруктовых отходах, имели самое высокое содержание жира, в основном насыщенных жирных кислот. Самое высокое содержание незаменимых жирных кислот n-3 было обнаружено в личинках, выращенных на овощных отходах, а содержание кислот n-6 - в личинках, выращенных на смешанном субстрате. Личинки, выращенные на последнем, имели самое высокое содержание белка [75]. Найдено, что содержание жирных кислот в личинках, выращенных на фруктовых смешанных отходах, составляет 47,39 ± 1,85 %, в предкуколках - 46,83 ± 1,37%. Соответственно, содержание белков составило 39,77 ± 0,13 % и 43,84 ± 0,16 % [76].

Фруктовые отходы использовались в качестве субстрата для выращивания личинок *Hermetia illucens* в течение 19 дней. Масса подачи субстрата составляла 60-100 мг/личинка/день. Определено, что масса отходов уменьшается на 68,17 % при подаче минимального количества субстрата. Средняя масса личинок при этом режиме кормления составляет 64 мг. Выявлено, что соотношение C/N в компосте составляет 30,37, а содержание фосфора - 0,85 % и калия 1,02 % [77].

Проводилось компостирование органических отходов с рынка с использованием личинок Черной львинки. Выявлено, что сокращение субстрата составляло 41 и 63 % в течение 15 и 30 дней культивирования соответственно. В случае наличия дренажной системы степень конверсии субстрата составляет 83 %. Выявлено, что содержание азота, углерода и калия составляет 1,82 и 3,60 %; 14,62 и 27,58 %; 5,44 и 7,88 % на 15 и 30 день компостирования соответственно. В то же время с увеличением времени культивирования личинок *Hermetia illucens* содержание фосфора, кальция и магния снижается. Выявлено, что наибольшая масса 20 личинок (4,5 г) достигается на 9 день выращивания личинок на смешанном субстрате, наименьшая (0,8 г) – при выращивании на томатах [78]. Для увеличения степени конверсии субстрата, фруктовые отходы смешивались с пищевыми отходами или куриным пометом в различных соотношениях. Выявлено, что уменьшение массы субстрата достигает

82,87 % при использовании смеси фруктовых и пищевых отходов в соотношении 70:30, 62,13 % - при соотношении фруктовых отходов с пометом при соотношении 80:20 [79]. Личинки, выращенные на смешанном субстрате, были самые тяжелые (176,66 мг). Существенные различия наблюдались по длине личинок и те, которых кормили смесью фруктовых и пищевых отходов, были самыми длинными (17,66 мм) [80].

Кроме того, выявлено, что личинки, выращиваемые на смеси фруктовых и овощных отходов требовали меньшее время до достижения стадии предкуколки (20,2 дней) по сравнению с личинками, выращиваемых на фруктовых отходах (22,0 дня) при средней массе выращенных личинок 55 и 37 мг, соответственно [81].

Компост, полученный после переработки фруктовых отходов, не имеет запаха в отличие от компоста, образующегося в результате гниения фруктов [82].

Указывается, что остатки биомассы отходов от вскармливания личинок насекомого возможно использовать в качестве субстрата для выращивания дождевых червей, которые преобразуют этот материал в компост для роста растений. Данное обстоятельство способствует созданию замкнутого цикла: растения – фруктовые, овощные или пищевые отходы – выращивание личинок – компост – вермикультивирование – растения [83, 84].

*Твердые бытовые отходы.* В составе твердых бытовых отходов (ТБО), органические отходы от приготовления пищи и ее потребления составляют не более 28 % в развитых странах [85]. В странах с низким и средним уровнем дохода органические отходы являются преобладающими в составе ТБО в связи с меньшим в них содержанием тары и упаковок [86].

В принципе, органические отходы в составе ТБО составляют смесь двух ранее рассмотренных групп отходов – пищевых и некондиционных фруктов и овощей, а также трава от стрижки газонов и лиственной опад. Однако, для утилизации органических отходов в составе ТБО путем компостирования с использованием личинок *Hermetia illucens*, необходимо разделять органическую фракцию на мусоросортировочных станциях или осуществлять отдельный сбор органических пищевых отходов и неорганических компонентов ТБО. В остальном, закономерности выращивания личинок Черной львинки на органических отходах ТБО аналогичны таковым при культивировании на пищевых и фруктовых отходах [86-94].

В частности, исследовано выращивание личинок *Hermetia illucens* на смеси фекалий (5 %) и пищевых отходах (95 %). Последние представлены, в основном, картофелем и макаронными изделиями, мясом и рыбой. Также присутствовали остатки овощей, фруктов, бутербродов и хлеба, бобы. Исследовались два режима кормления личинок - 40 мг или 60 мг сухого корма/личинка/день. Выявлено, что выживаемость личинок насекомого была значительно выше (100 %) при использовании второго режима по сравнению с режимом при меньшем количестве подаваемого субстрата (70 %). Определено, что уменьшение количества материала в этом режиме кормления составило 68 %, при этом степень конверсии отходов в биомассу на составила 19 % [87]. В другом исследовании выявлено, что ежедневное вскармливание 1 г пищевых отходов на личинку в день обеспечивает высокую экстракцию органических веществ в течение более короткого периода времени для получения предкуколки. Определено, что на 1 тонну пищевых отходов необходим миллион личинок *Hermetia illucens*, чтобы сократить их количество на 91,25 % за 5 дней [88].

Тем не менее, как указывают многие исследователи, процесс выращивания личинок и предкуколки мухи *Hermetia illucens*, в том числе и на городских органических отходах, имеет проблемы, которые необходимо учитывать [89-93]. К ним относятся задачи гомогенизации и предварительной обработки корма, интеграции факторов жизненного цикла насекомых (например, спаривания) с концепциями биотехнологической инженерии (что усложняет автоматизацию), удовлетворения пищевых потребностей личинок на разных стадиях роста с целью максимального увеличения биоконверсии и качества продукции, а также выяснение влияния биоты микроорганизмов на сложное поведение и биоконверсию субстрата [89]. В частности, при выращивании личинок насекомого на смешанных муниципальных органических отходах в полевом эксперименте среднего масштаба в Коста-Рике, выявлено, что три фактора сильно повлияли на выход личинок и сокращение объема отходов: 1) высокая смертность личинок из-за повышенного содержания цинка в отходах и анаэробные условия; 2) отсутствие оплодотворенных яиц из-за отравления цинком и 3) ограниченный доступ к пище из-за наличия застойной жидкости в экспериментальных лотках [90]. Также немаловажным фактором является качество субстрата и содержание в нем неорганических отходов. Данное обстоятельство влияет не только на качество конечного продукта, но и на затраты, необходимые для сортировки отходов перед их переработкой [91].

Определенную проблему составляет наличие тяжелых металлов в субстрате [92]. С целью определения концентрации металлов в корме на их содержание в предкуколках *Hermetia illucens*, проводились лабораторные эксперименты по выращиванию личинок с использованием стандартизированного корма с добавлением в различных концентрациях кадмия (2-50 мг/кг), свинца (5-125 мг/кг) и цинка (100-2000 мг/кг). Выявлено, что фактор биоаккумуляции (ФБА), то есть соотношение количества металла в организме по сравнению с количеством металла в субстрате варьировалось. Выявлено, что в предкуколках насекомого значение ФБА по кадмию составляет 2,32-2,94, по свинцу - 0,25-0,74. По цинку значение ФБА для предкуколок снижалось с увеличением его концентрации в субстрате и составляло от 0,97 до 0,39 [93].

Тем не менее, утилизация городских органических отходов путем переработки с использованием биомассы личинок *Hermetia illucens* способствует снижению выбросов CO<sub>2</sub> в 47 раз по сравнению с прямым компостированием [94]. Указывается, что замена производства рыбной муки мукой из личинок Черной львинки может значительно снизить потенциал глобального потепления (до 30 %) [94].

*Специфические органические отходы.* Особую группу органических отходов составляют последние, образующиеся в результате переработки или производства продуктов питания и напитков. Как правило, они имеют постоянный специфический состав.

В частности, в качестве субстрата для выращивания личинок *Hermetia illucens* использовались биомассы сухого и влажного трепанга (*Cucumaria*), крабовой муки, рыбной обрезки, морского ежа и сухого и влажного куахога (*Mercenaria mercenaria*). Выявлено, что наибольшая масса личинок (0,091 г) достигается при их выращивании на крабовой муке. Однако, в ходе проведения экспериментов выявлена высокая смертность личинок Черной львинки. Так, на влажном и сухом куахоге количество выживших личинок составляло 1,83 % и 10,1 %, соответственно; на влажном и сухом трепанге – 28,8 % и 0,33 %, соответственно [95].

Личинки *Hermetia illucens* выращивались на субстрате, состоящем из четырех различных источниках органических отходов: мидии, хлеб, рыбные и пищевые отходы в течение 2-х недель. Определено, что наибольшую среднюю массу имели личинки, выращенные на биомассе мидий (235 мг), наименьшую (89 мг) – на рыбных отходах. Сравнивая состав выращенных на морепродуктах личинок насекомого, выявлено, что наибольшее количество жиров находится у особей, питавшихся рыбными субпродуктами (56,8 %), наименьшее – у личинок, развивавшихся на некондиционных мидиях (29,7 %). Суммарное содержание белков составило 40,1 % и 32,2 %, соответственно [96]. Среди ненасыщенных жирных кислот лауриновая кислота была основным компонентом (до 52 %). Кроме того, пальмитиновая кислота и олеиновая кислоты также имели высокое содержание в составе личинок [96]. В работе [97] определено, что у личинок Черной львинки, выращенных на отходах рыбопродуктов, из насыщенных жирных кислот преобладающими являются лауриновая (24,1 %), пальмитиновая (19,3 %), и миристиновая (8,1 %) кислоты, среди ненасыщенных – олеиновая (15,4 %) и пальмитолеиновая (8,2 %) кислоты [97], что коррелирует с данными, приведенными в исследовании [96].

В качестве субстрата для культивирования личинок *Hermetia illucens* использовались отходы скотобойни, пищевые отходы, человеческие фекалии и смесь отходов скотобойни, фруктов и овощей. Отходы скотобойни состояли из содержимого желудка животных (48 %), крови (16 %), навоза (12 %), мяса (16 %) и внутренних органов (8 %). Выявлено, что на них наблюдается 100 % выживаемость личинок насекомого, наибольшая степень конверсии субстрата (15,2 %), содержание белков (44,2 %) и масса личинок, сопоставимая с контролем (248 мг) [98].

Личинки Черной львинки выращивались на отходах от переработки кофе [99] и отработанной кофейной гуще [100] с добавлением биомассы морских микроводорослей *Schizochytrium sp.* от *Isochrysis sp.* Найдено, что включение микроводорослей в состав субстрата способствует увеличению относительного количества липидов и белков, улучшающих их пищевую ценность. Повышенное количество ненасыщенных жирных кислот, особенно омега-3, обнаружено у предкуколок *Hermetia Illucens*, выращенных на субстратах, обогащенных 10-25 % *Schizochytrium sp.*, по отношению к предкуколкам, выращенных на отходах кофе, обогащенных биомассой *Isochrysis sp.* [100].

В качестве субстрата для культивирования личинок *Hermetia Illucens* использовались такие отходы, как соевая окара, кукурузные выжимки и зерна после пивоварения. Проведенными экспериментами определено, что личинки, выращенные на кукурузных остатках, имели наибольшую среднюю массу (197 мг), на зерновых отходах – наименьшую (98 мг). В то же время, личинки, выращенные на окаре, показали самые высокие показатели по сокращению массы отходов и эффективности переработки субстрата [101]. Отмечается, что экологическая и экономическая

эффективность питания личинок *Hermetia illucens* пивоваренным зерном или просроченными продуктами питания выше, чем при сжигании и анаэробном сбраживании последних [102].

Отходы от переработки биомассы гриба опенка зимнего (*Flammulina velutipes*) подвергались компостированию с использованием личинок Черной львинки в течение 26 дней. По окончании экспериментов определено, что степень уменьшения субстрата составила 54,8 %, а степень конверсии отходов в биомассу личинок насекомого составила 5,05 %. Полученный после биодеградации, компост влажностью 29,3 % имел следующие показатели: содержание органических веществ – 76,0 %, общего азота - 2,74 %, общего фосфора - 2,07 % и калия - 1,34 %. Компост исследовался в качестве грунта для проращивания семян, при этом степень всхожести для пекинской капусты составила 65,7 %, для рапса - 52,9 % [103].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, кратко обобщены сведения зарубежных литературных источников о возможности использования пищевых отходов различного состава, некондиционных овощей и фруктов, образующихся, в большинстве своем, на рынках и торговых центрах и магазинах, а также их смесей в составе ТБО в качестве субстратов для выращивания личинок мухи *Hermetia illucens*. Также показана возможность использования в качестве субстрата специфических отходов, таких как, в частности, отходы от переработки морепродуктов и грибов.

Показано, что личинки и предкуколки *Hermetia illucens* способствуют, в большинстве случаев, высокой конверсии субстрата в биомассу личинок и эффективности переработки отходов. Личинки Черной львинки, выращенные на органических субстратах, характеризуются в большинстве случаев высоким содержанием насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, а также белков. Данное обстоятельство делает их весьма перспективными ингредиентами кормов для выращивания рыб в аквакультуре [34, 99, 104-106], домашних птиц [10-109] и животных [110-112] взамен рыбной и соевой муки, рыбьего жира и других традиционных компонентов. Кроме того, личинки и предкуколки насекомого перспективны в качестве источника для получения биодизеля [113-116].

Компост, полученный после биоконверсии с использованием личинок *Hermetia illucens*, содержит высокое количество биогенных элементов и может использоваться в качестве удобрения или грунта для выращивания комнатных растений и сельскохозяйственных культур. К тому же, переработка органических пищевых отходов способствует существенному снижению эмиссии парниковых газов по сравнению с простым компостированием или анаэробным сбраживанием, что позволяет отнести процесс к экологически чистым безотходным технологиям.

*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

1. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a waste: a global review of solid waste management. World Bank, Washington, DC.2012. vol. 15. 116 p.
2. Komakech A.J., Sundberg C., Jönsson H., Vinnerås B. Life cycle assessment of biodegradable waste treatment systems for sub-Saharan African cities // Resources, Conservation and Recycling. 2015. vol. 99. P. 100-110. DOI 10.1016/j.resconrec.2015.03.006.
3. Pleissner D. Recycling and reuse of food waste // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. 2018. vol. 13. P. 39-43.
4. Bortolotti A., Kampelmann S., De Muynck S. Decentralised organic resource treatments - classification and comparison through extended material flow analysis // Journal of Cleaner Production. 2018. vol. 183. P. 515-526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.02.104.
5. Morales-Polo C., Cledera-Castro M. del M., Soria B.Y.M. Reviewing the anaerobic digestion of food waste: from waste generation and anaerobic process to its perspectives // Applied Science. 2018. vol. 8. Article 1804 35 p. DOI 10.3390/app8101804.
6. Dueñas M., García-Estévez I. Agricultural and food waste: analysis, characterization and extraction of bioactive compounds and their possible utilization. Foods. 2020. vol. 9. Article 817. 3 p. DOI 10.3390/foods9060817.

7. Carmona-Cabello M., Sáez-Bastante J., Pinzi S., Dorado M.P. Optimization of solid food waste oil biodiesel by ultrasound-assisted transesterification // *Fuel*. 2019. vol. 255. Article 115817. DOI 10.1016/j.fuel.2019.115817.
8. Carmona-Cabello M., Saez-Bastante J., Pinzi S., Dorado M.P. Auxiliary energy-assisted biodiesel production data from solid food waste oil // *Data in Brief*. 2020. vol. 30. Article 105456. 12 p. DOI 10.1016/j.dib.2020.105456.
9. Kosheleva R.I., Mitropoulos A.C., Kyzas G.Z. Synthesis of activated carbon from food waste. *Environmental Chemistry Letters*. 2019. vol. 17. P. 429–438. DOI 10.1007/s10311-018-0817-5.
10. Elkhalfa S., Al-Ansari T., Mackey H.R., McKay G. Food waste to biochars through pyrolysis: A review // *Resources, Conservation and Recycling*. 2019.vol.144. P. 310-320. DOI 10.1016/j.resconrec.2019.01.024.
11. Chia S.Y., Tanga C.M., Osuga I.M., Mohamed S.A., Khamis F.M., Salifu D., Sevgan S., Fiaboe K.K.M., Niassy S., van Loon J.J.A., Dicke M., Ekesi S. Effects of waste stream combinations from brewing industry on performance of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) // *Peer Journal*. 2018. Vol. 6. Article e5885. 26 p. DOI 10.7717/peerj.5885.
12. Dobermann D., Field L.M., Michaelson L.V. Using *Hermetia illucens* to process Ugandan waragi waste // *Journal of Cleaner Production*. 2019. vol. 211. P. 303-308. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.11.176.
13. Varelas V. Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: A review // *Fermentation*. 2019. vol. 5. Article 81. 19 p. doi:10.3390/fermentation5030081.
14. 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. Article 349. 19 p. DOI 10.3390/ani9060349.
15. Pastor B., Velasquez Y., Gobbi P., Rojo S. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015. Volume 1(3). P. 179-193. DOI 10.3920/JIFF2014.0024.
16. Kumar S., Negi S., Mandpe A., Singh R.V., Hussain A. Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes – A comprehensive review // *Journal of Environmental Management*. 2018. vol. 227. P. 189-199. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.08.096.
17. 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. Article 109569. 13 p. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109569.
18. Gold M., Tomberlin J.K., Diener S., Zurbrügg C., Mathys A. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review // *Waste Management*. 2018. vol. 82. P. 302-318. DOI 10.1016/j.wasman.2018.10.022.
19. Cickova H., Newton G.L., Lacy R.C., Kozanek M. The use of fly larvae for organic waste treatment // *Waste Management*. 2015. vol. 35. P. 68-80. DOI 10.1016/j.wasman.2014.09.026.
20. Pleissner D., Rumpold B.A. Utilization of organic residues using heterotrophic microalgae and insects // *Waste Management*. 2018. vol. 72. P. 227-239. DOI 10.1016/j.wasman.2017.11.020.
21. van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security // *Annual Review of Entomology*. 2013. vol. 58. P. 563-583. DOI 10.1146/annurev-ento-120811-153704.
22. Makkar H.P.S., Tran G., Heuzé V., Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed // *Animal Feed Science and Technology*. 2014. vol. 197. P. 1-33. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008.
23. 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. DOI 10.3920/JIFF2016.0055.
24. van Huis A., Ooninx D.G.A.B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review // *Agronomy for Sustainable Development*. 2017. vol. 37. Article 43. 14 p. DOI 10.1007/s13593-017-0452-8.
25. Sogari G., Amato M., Biasato I., Chiesa S., Gasco L. The potential role of insects as feed: A multi-perspective review // *Animals*. 2019. vol. 9. Article 119. 15 p. DOI 10.3390/ani9040119.
26. Tang C., Yang D., Liao H., Sun H., Liu C., Wei L., Li F. Edible insects as a food source: a review // *Food Production, Processing and Nutrition*. 2019. vol. 1(8). 13 p. DOI 10.1186/s43014-019-0008-1.
27. *Edible Insects in the Food Sector*. G. Sogari, C. Mora, D. Menozzi editors. Springer Nature, Switzerland AG. 2019. 128 p.
28. Chodová D., Tůmová E. Insects in chicken nutrition. A review // *Agronomy Research*. 2020. vol. 18. 17 p. DOI : 10.15159/AR.20.003



29. Nugroho R.A., Nur F.M. Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured // IOP Conferencies Series: Earth and Environmental Science. 2018. vol. 144. Article 012002. 8 p. DOI 10.1088/1755-1315/144/1/012002.
30. Čengić-Džomba S., Džomba E., Muratović S., Hadžić D. Using of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Larvae Meal in Fish Nutrition. In: Brka M., Omanović-Miklićanin E., Karić L., Falan V., Toroman A. (eds) 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry. AgriConf 2019. IFMBE Proceedings. 2020. vol 78. Springer, Cham. DOI 10.1007/978-3-030-40049-1 17.
31. Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. Feeds for the aquaculture sector - Current situation and alternative sources. Springer. 2018. 111 p. DOI 10.1007/978-3-319-77941-6.
32. Rana K.M.S., Salam M.A., Hashem S., Islam M.A. Development of Black soldier fly larvae production technique as an alternate fish feed // International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture. 2015. vol. 5(1). P. 41-47.
33. Nogales-Merida S., Gobbi P., Jozefiak D., Mazurkiewicz J., Dudek K., Rawski M., Kieronczyk B., Jozefiak A. Insect meals in fish nutrition // Reviews in Aquaculture. 2019. vol. 11. P. 1080-1103.
34. Henry M., Gasco L., Piccolo G., Fountoulaki E. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future // Animal Feed Science and Technology. 2015. vol. 203. P. 1-22. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001.
35. Tran G., Heuzé V., Makkar H.P.S. Insects in fish diets // Animal Frontiers. 2015. vol. 5(2). P. 37-44. DOI 10.2527/af.2015-0018.
36. Wang Y., Shelomi M. Review of Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food // Foods. 2017. vol. 6. Article 91. 23 p. DOI 10.3390/foods6100091.
37. 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. Article 349. 19 p. DOI 10.3390/ani9060349.
38. Moula N., Scippo M., Douny C., Degand G., Dawans E., Cabaraux J., Hornick J., Medigo R.C., Leroy P., Francis F., Detilleux J. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure // Animal Nutrition. 2018. vol. 4. P. 73-78. DOI 10.1016/j.aninu.2017.10.002.
39. Surendra K.C., Olivier R., Tomberlin J.K., Jha R., Khanal S.K. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming // Renewable Energy. 2016. vol. 98. P. 197-202. DOI 10.1016/j.renene.2016.03.022.
40. Ites S., Smetana S., Toepfl S., Heinz V. Modularity of insect production and processing as a path to efficient and sustainable food waste treatment // Journal of Cleaner Production. 2020. vol. 248, Article 119248. 17 p. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.119248.
41. Lalander C., Nordberg A., Vinneras B. A comparison in product-value potential in four treatment strategies for food waste and faeces – assessing composting, fly larvae composting and anaerobic digestion // GCB Bioenergy. 2018. vol. 10. P. 84-91. DOI 10.1111/gcbb.12470.
42. Warburton K., Hallman V. Processing of organic materials by the soldier fly, *Hermetia illucens* // in integrated biosystems for sustainable development. Edited by K. Warburton, U. Pillai-McGarry, D. Ramage. 2002. P. 118-129.
43. Nguyen T.T.X., Tomberlin J.K., Vanlaerhoven S. Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development // Journal of Medical Entomology. 2020. Vol. 50(4). P. 898-906.
44. Fowles T.M., Nansen C. Artificial selection of insects to bioconvert pre-consumer organic wastes. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2019. vol. 39. Article 31. 14 p. DOI 10.1007/s13593-019-0577-z.
45. Choudhury A.R., Natarajan A.K., Kesavarapu S., Veeraraghavan A., Dugyala S.K., Rao K., Thota K.R. // Technical feasibility of *Hermetia illucens* in integrated waste management, renovated with sewage water, an overview // Open Access Library Journal. 2018. Vol. 5. Article e4421. 28 p. DOI: 10.4236/oalib.1104421.
46. 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. Article 349. 19 p. DOI 10.3390/ani9060349.
47. Pastor B., Velasquez Y., Gobbi P., Rojo S. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges // Journal of Insects as Food and Feed. 2015. vol. 1(3) P. 179-193. DOI 10.3920/JIFF2014.0024.
48. Bosch G., van Zanten H.H.E., Zamprogna A., Veenenbos M., Meijer N.P., van der Fels-Klerx H.J., van Loon J.J.A. Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: legislation, efficiency and

- environmental impact // Journal of Cleaner Production. 2019. vol. 222. P. 355-363. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.02.270.
49. 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 // Neotropical Entomology. 2020. vol. 49(2) P. 151-162. DOI 10.1007/s13744-019-00719-z.
50. Lohri C.R., Diener S., Zabaleta I., Mertenat A., Zurbrugg C. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middleincome settings // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2017. vol. 16. P. 81-130. DOI 10.1007/s11157-017-9422-5.
51. Giroto F., Cossu R. Role of animals in waste management with a focus on invertebrates' biorefinery: An overview // Environmental Development. 2019. Vol. 32. Article 100454. 10 p. DOI 10.1016/j.envdev.2019.08.001.
52. Monita L., Sutjahjo S.H., Amin A.A., Fahmi M.R. Municipal organic waste recycling using Black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) // Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. 2017. Vol. 7(3). P. 227-234. DOI 10.29244/jpsl.7.3.227-234 (in Indonesian).
53. Brits D. Improving feeding efficiencies of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae: Hermetiinae) through manipulation of feeding conditions for industrial mass rearing. Dissertation for the degree of Master of AgriScience. Stellenbosch University, Stellenbosch, Republic of South Africa. 2017. 162 p.
54. Nguyen T.T.X., Tomberlin J.K., Vanlaerhoven S. Ability of Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste // Environmental Entomology. 2015. vol. 44(2). P. 406-410. DOI: 10.1093/ee/nvv002.
55. Nyakeri E.M., Ogola H.J.O., Ayieko M.A., Amimo F.A. Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes // Journal of Insects as Food and Feed. 2017. vol. 3(3). P. 193-202. DOI 10.3920/JIFF2017.0004.
56. Spranghers T., Ottoboni M., Klootwijk C., Olyn A., Deboosere S., De Meulenaer B., Michiels J., Eeckhout M., De Clercq P., De Smet S. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2017. vol. 97. P. 2594-2600. DOI 10.1002/jsfa.8081.
57. Gold M., Cassar C.M., Zurbrugg C., Kreuzer M., Boulos S., Diener S., Mathys A. Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates // Waste Management. 2020. vol. 102. P. 319-329. DOI 10.1016/j.wasman.2019.10.036.
58. Ewald N., Vidakovic A., Langeland M., Kiessling A., Sampels S., Lalander C. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet // Waste Management. 2020. vol. 102. P. 40-47. DOI 10.1016/j.wasman.2019.10.014.
59. 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 Valorization. 2015. vol. 6 P. 1059-1065. DOI 10.1007/s12649-015-9418-8.
60. Kalová M., Borkovcová M. Possibilities of *Hermetia illucens* of treatment biowaste // MendelNet. 2011. P. 856-861 (in Czechoslovakian).
61. Alyokhin A., Buzza A., Beaulieu J. Effects of food substrates and moxidectin on development of black soldier fly, *Hermetia illucens* // Journal of Applied Entomology. 2019. vol. 143. P. 137-143. DOI: 10.1111/jen.12557.
62. Putra R.E., Kinasih I., Hadziqi A.R., Gusmara F.F. Growth rate of black soldier fly (*Hermetia illucens*) during bioconversion of restaurant waste // International Conference on Life Sciences and Biotechnology (ICOLIB) «Exploration and Conservation of Biodiversity», Jember, Indonesia, 2015. P. 180-184.
63. Ushakova N.A., Bastrakov A.I., Karagodin V.P., Pavlov D.S. Specific features of organic waste bioconversion by *Hermetia illucens* fly larvae (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758) // Biology Bulletin Reviews. 2018. Vol. 8(6). P. 533-541. DOI: 10.1134/S2079086418060117.
64. Bogataj T. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens*) for protein production from organic wastes and its microbiome. Dissertation for the degree of Master of Science. Ljubljana, Univ. of Ljubljana. 2018. 82 p.
65. 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.

66. Ermolaev E., Lalander C., Vinnerås B. Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens* // Waste Management. 2019. vol. 96. P. 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.011>.
67. Sarpong D., Oduro-Kwarteng S., Gyasi S.F., Buamah R., Donkor E., Awuah E., Baah M.K. Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) larvae // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2019. vol. 8. P. 45-54. DOI 10.1007/s40093-019-0268-4.
68. Attiogbe 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. Article e00205. 10 p. DOI 10.1016/j.sciaf.2019.e00205.
69. Liu T., Awasthi M.K., Awasthi S.K., Duan Y., Zhang Z. Effects of black soldier fly larvae (*Diptera: Stratiomyidae*) on food waste and sewage sludge composting // Journal of Environmental Management 2020. vol. 256. Article 109967. 9 p. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109967.
70. Choi Y., Choi J., Kim J., Kim M., Kim W., Park K., Bae S., Jeong G. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) // International Journal of Industrial Entomology. 2009. Vol. 19(1). P. 171-174.
71. Pleissner D., Smetana S. Estimation of the economy of heterotrophic microalgae- and insect-based food waste utilization processes // Waste Management. 2020 vol. 102. P. 198-203. DOI 10.1016/j.wasman.2019.10.031.
72. Muzakki G., Putra R.E., Abduh M.Y. Produksi hidrolisat protein dari biomassa Defatted larva lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*) hasil kultivasi dengan substrat alpukat dan alpukat-ampas tahu (1:1) // Repository Tugas Akhir SITH-ITB. 2018. vol. 1. P. 1-7 (in Indonesian)
73. Saragi E.S. Determination of optimal feeding rate of larvae black soldier fly (*Hermetia illucens*) to reduction organic market waste. Dissertation for the degree of Master of Science. Surabaya, Institut technology Sepuluh Nopember, 2015. 117 p. (in Indonesian)
74. Manyara N.E. Optimization of production of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*, L) for fish feed formulation. Dissertation for the Degree of Doctor of philosophy, Jaramogi Oginda Odinga University of Science and Technology, Bondo, Kenya, 2018. 143 p.
75. 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(6). P. 1415-1423. DOI 10.1093/ee/nvx154.
76. Chun C.Y., Yoong L.S., Kim L.P., Hock T.L., Ling L.J. Comparison of *Hermetia illucens* larvae and pre-pupae as potential aqua feed derived from the biotransformation of organic waste // AIP Conference Proceedings (2019). Vol. 2157. Article 020008. 6 p. DOI 10.1063/1.5126543
77. Nursaid A.A. Analisis laju penguraian dan hasil kompos pada pengolahan sampah buan dengan larva black soldier fly (*Hermetia Illucens*). Dissertation for the of bachelor degree, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2019. 49 p. (in Indonesian)
78. Mentari P.D. Karakteristik dekomposisi sampah organik pasar tradisional dengan menggunakan larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens* L.). Dissertation for the of bachelor degree, Institut Pertanian Bogor, Bogor. 2018. 47 p. (in Indonesian)
79. Mahardika T.R. Teknologi reduksi sampah dengan memanfaatkan larva Black soldier fly (BSF) di kawasan pasar Puspa agro sidoarjo. Dissertation for the degree of Master of Science, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 2016. 134 p. (in Indonesian)
80. Ewusie E.A., Kwapong P.K., Ofosu-Budu G., Sandrock C., Akumah A., Nartey E., Teye-Gaga C., Agyarkwah S.K., Adamtey N. Development of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) in Selected Organic Market Waste Fractions in Accra, Ghana // Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology. 2018. vol. 4(1). P. 1-16. DOI: 10.9734/AJB2T/2018/42371.
81. Meneguz M., Schiavone A., Gai F., Dama A., Lussiana C., Renna M., Gasco L. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. vol. 98. P. 5776-5784. DOI 10.1002/jsfa.9127.
82. Dissanayake D.M.P.S., Silva G.D.R., Weerakkody W.J.S.K., Kandemulla K.A.C., Herath H.M.S.K. Effectiveness of Black soldier fly larva (*Hermetia illucens*) in solid waste management and kitchen waste composting // Annals of Sri Lanka Department of Agriculture. 2016. vol. 18. P. 220-223.
83. 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. Article 349. 19 p. DOI 10.3390/ani9060349.

84. Cappellozza S., Leonardi M.G., Savoldelli S., Carminati D., Rizzolo A., Cortellino G., Terova G., Moretto E., Badaile A., Concheri G., Saviane A., Bruno D., Bonelli M., Caccia S., Casartelli M., Tettamanti G. A first attempt to produce proteins from insects by means of a circular economy // *Animals*. 2019. vol. 9. Article 278. 24 p. DOI 10.3390/ani9050278.

85. Diener S., Lalander C., Zurbrugg C., Vinneras B. Opportunities and constraints for medium-scale organic waste treatment with fly larvae composting // *Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy, 2015. 9 p.

86. Zurbrugg C., Dortmans B., Fadhila A., Vertsappen B., Diener S. From pilot to full scale operation of a waste-to-protein treatment facility // *Detritus*. 2018. Vol. 1. P. 18-22.

87. Dortmans B. Valorisation of organic waste – effect of the feeding regime on process parameters in a continuous black soldier fly larvae composting system. Dissertation for the of master degree, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2015. 40 p.

88. Bonso N.K. Bioconversion of organic fraction of solid waste using the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*). Dissertation for the of master degree, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, Ghana, 2013. 84 p.

89. Law Y., Wein L. Reversing the nutrient drain through urban insect farming - opportunities and challenges // *AIMS Bioengineering*. 2018. vol. 5(4). P. 226-237. DOI: 10.3934/bioeng.2018.4.226.

90. Diener S., Solano N.M.S., Gutierrez F.R., Zurbrugg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae // *Waste Biomass Valorization* 2011. vol. 2. P. 357-363. DOI 10.1007/s12649-011-9079-1.

91. Diener S., Gutierrez F.R., Zurbrugg C., Tockner K. Are larvae of the black soldier fly - *Hermetia illucens* - a financially viable option for organic waste management in Costa Rica? // *Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium «Proceedings Sardinia 2009»*, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 2009. 7 p.

92. Diener S., Zurbrugg C., Gutierrez F.R., Nguyen D.H, Morel A, Koottatep T., Tockner K. Black soldier fly larvae for organic waste treatment – prospects and constraints // *2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries «Proceedings of the WasteSafe»*, Khulna, Bangladesh, 2011, 8 p.

93. Diener S. Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, in low and Middle-income countries. A dissertation for the degree of Doctor of Sciences. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, 2010. 77 p.

94. Mertenat A., Diener S., Zurbrugg C. Black soldier fly biowaste treatment – assessment of global warming potential // *Waste Management*. 2019. vol. 84. P. 173-181. DOI 10.1016/j.wasman.2018.11.040.

95. Villazana J., Alyokhin A. Development of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) on seafood wastes // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019. vol. 5(4). P. 313-319. DOI 10.3920/JIFF2019.0008.

96. Ewald N., Vidakovic A, Langeland M., Kiessling A., Sampels S., Lalander C. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet // *Waste Management* 2020. vol.102. P. 40-47. DOI 10.1016/j.wasman.2019.10.014.

97. Barroso F.G., Sánchez-Muros M.J., Rincón M.A., Rodriguez-Rodriguez M., Fabrikov D., Morote E., Guil-Guerrero J.L. Production of n-3-rich insects by bioaccumulation of fishery waste // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2019. vol. 82. Article 103237. 8 p. DOI 10.1016/j.jfca.2019.103237.

98. Lalander C., Diener S., Zurbrugg C., Vinnerås B. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*) // *Journal of Cleaner Production*. 2019. vol. 208. P. 211-219. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.10.017.

99. Zarantoniello M., Zimbelli A., Randazzo B., Compagni M.D., Truzzi C., Antonucci M., Riolo P., Loreto N., Osimani A., Milanović V., Giorgini E., Cardinaletti G., Tulli F., Cipriani R., Black soldier fly (*Hermetia illucens*) reared on roasted coffee by-product and *Schizochytrium sp.* as a sustainable terrestrial ingredient for aquafeeds production // *Aquaculture*. 2020. vol. 518, Article 734659. 15 p. DOI 10.1016/j.aquaculture.2019.734659.

100. Truzzi C., Giorgini E., Annibaldi A., Antonucci M., Illuminati S., Scarponi G., Riolo P., Isidoro N., Conti C., Zarantoniello M., Cipriani R., Olivotto I. Fatty acids profile of black soldier fly (*Hermetia illucens*): Influence of feeding substrate based on coffee-waste silverskin enriched with microalgae // *Animal Feed Science and Technology*. 2020. vol. 259. Article 114309. 21 p. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2019.114309.

101. Bava L., Jucker C., Gislou G., Lupi D., Savoldelli S., Zucali M., Colombini S. Rearing of *Hermetia illucens* on different organic by-products: influence on growth, waste reduction, and environmental impact // *Animals*. 2019. vol. 9. Article 289. 16 p. DOI 10.3390/ani9060289.

102. Ites S., Smetana S., Toepfl S., Heinz V. Modularity of insect production and processing as a path to efficient and sustainable food waste treatment // *Journal of Cleaner Production*. 2020. vol. 248. Article 119248. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.119248.
103. Cai M., Zhang K., Zhong W., Liu N., Wu X., Li W., Zheng L., Yu Z., Zhang J. Bioconversion-composting of golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*) root waste by black soldier fly (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) larvae, to obtain added-value biomass and fertilizer // *Waste Biomass Valorization*. 2019. vol. 10. P. 265-273. DOI 10.1007/s12649-017-0063-2.
104. Bruni L., Belghit I., Lock E., Secci G., Taiti C., Parisi G. 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.) // *Science of Food and Agriculture*. vol. 100 (3). P. 1038-1047. DOI 10.1002/jsfa.10108.
105. Rumpold B.A., Speckmann H., Schlüter O., Kloas W., Prochnow A. Potentials of a biogenic residue-based production of *Hermetia illucens* as fish meal replacement in aquafeed for *Oncorhynchus mykiss* in Germany // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2018. vol. 4(1). P. 5-18. DOI 10.3920/JIFF2016.0060.
106. Nyakeri E.M., Ogola H.J., Ayieko M.A., Amimo F.A. An open system for farming black soldier fly larvae as a source of proteins for smallscale poultry and fish production // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2017. vol. 3(1). P. 51-56. DOI 10.3920/JIFF2016.0030.
107. El-Hack M.E.A., 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.E., Tufarelli V., Ragni M. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal as A promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review // *Agriculture*. 2020. Vol. 10. Article 339. 31 p. DOI 10.3390/agriculture10080339.
108. Pasotto D., van Emmenes L., Cullere M., Giaccone V., Pieterse E., Hoffman L.C., Dalle Zotte A. Inclusion of *Hermetia illucens* larvae reared on fish offal to the diet of broiler quails: Effect on immunity and caecal microbial populations. *Czech Journal of Animal Science*. 2020. vol. 65. P. 213-223. DOI 10.17221/60/2020-CJAS.
109. Cullere M., Schiavone A., Dabbou S., Gasco L., Zotte A.D. Meat quality and sensory traits of finisher broiler chickens fed with black soldier fly (*Hermetia Illucens* L.) larvae fat as alternative fat source // *Animals*. 2019. vol. 9. Article 140. 15 p. DOI 10.3390/ani9040140.
110. Gasco L., Acuti G., Bani P., Zotte A.D., Danieli P.P., De Angelis A., Fortina R., Marino R., Parisi G., Piccolo G., Pinotti L., Prandini A., Schiavone A., Terova G., Tulli F., Roncarati A. Insect and fish by-products as sustainable alternatives to conventional animal proteins in animal nutrition // *Italian Journal of Animal Science*. 2020. vol. 19(1). P. 360-372. DOI: 10.1080/1828051X.2020.1743209.
111. Yu M., Li Z., Chen W., Rong T., Wang G., Li J., Ma X. Use of *Hermetia illucens* larvae as a dietary protein source: Effects on growth performance, carcass traits, and meat quality in finishing pigs // *Meat Science*. 2019. vol. 158. Article 107837. 8 p. DOI 10.1016/j.meatsci.2019.05.008.
112. Chia S.Y., Tanga C.M., Osuga I.M., Alaru A.O., Mwangi D.M., Githinji M., Subramanian S., Fiaboe K.K.M., Ekesi S., van Loon J.J.A., Dicke M. Effect of dietary replacement of fishmeal by insect meal on growth performance, blood profiles and economics of growing pigs in Kenya // *Animals*. 2019. vol. 9. Article 705. 19 p. DOI 10.3390/ani9100705.
113. Leong S.Y., Kutty S.R.M., Malakahmad A., Tan C.K. Feasibility study of biodiesel production using lipids of *Hermetia illucens* larva fed with organic waste // *Waste Management*. 2016. vol. 47. P. 84-90. DOI /10.1016/j.wasman.2015.03.030.
114. Ishak S., Kamari A. Biodiesel from black soldier fly larvae grown on restaurant kitchen waste // *Environmental Chemistry Letters*. 2019. vol. 17. P. 1143-1150. DOI 10.1007/s10311-018-00844-y.
115. Ishak S., Kamari A., Yusoff S.N.M., Halim A.L.A. Optimisation of biodiesel production of black soldier fly larvae rearing on restaurant kitchen waste // *IOP Conference Series: Journal of Physics*. 2018. vol. 1097. Article 012052. 9 p. DOI 10.1088/1742-6596/1097/1/012052.
116. Zheng L., Li Q., Zhang J., Yu Z. 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.

USING FOOD WASTE FOR THE GROWING OF HERMETIA ILLUCENS FLY LARVAE  
(BRIEF REVIEW OF FOREIGN LITERATURE)

Shaikhiev I.G.<sup>1</sup>, Svergunova S.V.<sup>2</sup>, Sapronova Zh.A.<sup>3</sup>, Antyufeeva E.S.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kazan National Research Technological University

<sup>2</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov

**Abstract.** The information from foreign literature on the use of organic consumption food waste, substandard food products generated at trade objects, as well as their mixtures in the composition of solid municipal waste as substrates for growing larvae and prepupae of the fly *Hermetia illucens* is briefly summarized. Also shown the possibility of using specific waste as a substrate, such as, in particular, waste from the processing of seafood and mushrooms. It was shown that the larvae and prepupae of *Hermetia illucens* contribute to the high conversion of the organic substrate into the larvae biomass and waste processing efficiency with a decrease in its mass and volume. Larvae of *Hermetia illucens*, grown on organic substrates, are characterized in most cases by a high content of saturated and unsaturated fatty acids and proteins. The compost formed after the bioconversion of organic substrates using *Hermetia illucens* larvae contains a high amount of nutrients and can be used as fertilizer or soil for growing indoor plants and crops. It was revealed that the processing of organic food waste contributes to a significant reduction in greenhouse gas emissions compared to simple composting or anaerobic digestion.

**Key words:** food waste, substandard food products, substrate, *Hermetia illucens* fly larvae, processing.