

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-24-40

УДК 595.772:638.4:591.61



Научная статья | Насекомые

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ НАСЕКОМОГО ВИДА HERMETIA ILLUCENS (ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА)

*Г.В. Песцов, А.В. Третьякова,
О.В. Прокудина, С.А. Бутенко*

Обоснование. Проблема утилизации отходов сельского хозяйства в настоящее время является очень актуальной. В Российской Федерации агропромышленный комплекс ежегодно производит сотни миллионов тонн отходов, которые необходимо утилизировать и рационально использовать. Органические отходы сельскохозяйственного производства и навоз сельскохозяйственных животных можно эффективно утилизировать при помощи направленной микробиологической ферментации и личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка).

В результате деятельности ферментной системы личинок черной львинки и специфической микрофлоры отходы сельского хозяйства превращаются в зоогуmus с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, который можно использовать в качестве органического удобрения, улучшающего качество почвы, а биомассу личинок на корм животным и для получения белкового концентрата и жира.

Цель. Определить оптимальные температурные условия для культивирования насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных видах субстратов, изучить влияние состава субстрата на получение биомассы личинок, белкового концентрата и жира.

Материалы и методы. Научно-исследовательская работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого и инсектарии ООО «Львинка».

Для изучения влияния состава корма на рост и развитие личинок насекомого вида *Hermetia illucens* применяли субстраты из различных сельскохозяйственных, пищевых и животноводческих отходов. Для определения влияния температуры на развитие личинок использовали термостаты и помещения инсектария.

Результаты. Изучение влияния различных твёрдых органических отходов, при использовании их в качестве корма, на биомассу живых и высушенных личинок насекомого *H. illucens* показало, что личинки лучше росли и развивались на пищевых отходах, состоящих из мясных и рыбных компонентов, а также пищевых растительных отходов. Хуже развивались личинки на растительных остатках.

Это связано с тем, что растительные отходы содержат в своём составе большое количество целлюлозы и гораздо меньшее питательных веществ, поэтому на субстрате такого состава личинки хуже набирали биомассу.

Оптимальной температурой для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens* является $t=22^{\circ}\text{C}$. Соотношение белка и жира в личинках насекомого *H. illucens* зависит от состава корма.

В тех типах кормов, где преобладает белок, содержание этого компонента в личинках было высокое. Например, при использовании пищевых мясных отходов содержание белкового концентрата достигает 595 г/кг, жира только 323 г/кг, а при использовании растительных отходов, содержащих большое количество углеводов, нарабатывается больше жира и меньше белка.

Заключение. В результате проведенной научно-исследовательской работы удалось изучить влияние факторов окружающей среды на рост и развитие насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка), и подобрать благоприятные условия для наработки биомассы личинок. Были подобраны субстраты для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens*, определены наиболее подходящие субстраты для наработки белкового концентрата и жира.

Ключевые слова: *Hermetia illucens*; черная львинка; субстраты; утилизация отходов

Для цитирования. Песцов Г.В., Третьякова А.В., Прокудина О.В., Бутенко С.А. Изучение влияния факторов окружающей среды на рост и развитие насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 24-40. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-24-40

Original article | Insects

STUDY OF THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE INSECT SPECIES *HERMETIA ILLUCENS* (BLACK SOLDIER FLY)

*G.V. Pestsov, A.V. Tretyakova,
O.V. Prokudina, S.A. Butenko*

Background. *The problem of agricultural waste disposal is currently very relevant. In the Russian Federation, the agro-industrial complex annually produces hundreds of millions of tons of waste that must be disposed of and used rationally. Organic waste from agricultural production and farm animal manure can be effectively disposed of using directed microbiological fermentation and larvae of the insect *Hermetia illucens* (black soldier fly). As a result of the activity of the enzyme system of black lion larvae and specific microflora, agricultural waste turns into zoohumus with a high content of nitrogen, phosphorus, potassium and trace elements, which can be used as an organic fertilizer that improves the quality of the soil, and the biomass of larvae for animal feed and for obtaining protein concentrate and fat.*

Purpose. *To determine the optimal temperature conditions for the cultivation of the insect species *Hermetia illucens* (black soldier fly) on various types of substrates, to study the effect of the substrate composition on the production of larval biomass, protein concentrate and fat.*

Materials and Methods. *The research work was carried out in the microbiological laboratory of the Center for Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”, laboratories of the Department of Biology and Technologies of Living Systems, Faculty of Natural Sciences of the Tula State Pedagogical University named after L. N. Tolstoy and insectaria LLC “Lvinka”.*

*To study the effect of the feed composition on the growth and development of the larvae of the insect species *Hermetia illucens*, substrates from various agricultural, food and animal waste were used. To determine the influence of temperature and humidity on the development of larvae, thermostats and insectarium rooms were used.*

Results. *The study of the effect of various solid organic waste on the biomass of live and dried larvae showed that the larvae of the insect *H. illucens* grew and developed better on food waste consisting of meat and fish waste, as well as plant*

food waste. Larvae developed worse on plant residues. This is due to the fact that these wastes contain a large amount of cellulose and much less nutrients in their composition, therefore, on a substrate of this composition, the larvae gained biomass worse. The optimal temperature for the cultivation of insect larvae of the species *H. illucens* is $t-22^{\circ}\text{C}$. The ratio of protein and fat in the larvae of the insect *H. illucens* depends on the composition of the feed. In those types of feed where protein predominates, the content of this component in the larvae is high. For example, when using food meat waste, the content of protein concentrate reaches 595 g/kg, fat only 323 g/kg, and when using vegetable waste containing a large amount of carbohydrates, more fat and less protein are produced.

Conclusions. As a result of the research work carried out, it was possible to study the influence of environmental factors on the growth and development of the insect species *H. illucens* (black soldier fly), and to select favorable conditions for the development of larval biomass. Optimal substrates were selected for the cultivation of larvae of the insect species *H. illucens*. The most suitable substrates for the production of protein concentrate and fat were also determined.

Keywords: *Hermetia illucens*; black soldier fly; substrates; waste disposal

For citation. Pestsov G.V., Tretyakova A.V., O Prokudina.V., Butenko S.A. Study of the Influence of Environmental Factors on the Growth and Development of the Insect Species *Hermetia illucens* (Black Soldier Fly). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 24-40. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-24-40

Одной из актуальных современных проблем является утилизация различных органических отходов, особенно сельского хозяйства. Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» поставлена задача эффективного обращения с отходами производства и потребления [4]. Проблема утилизации отходов сельского хозяйства в настоящее время является очень актуальной. В Российской Федерации агропромышленный комплекс ежегодно производит сотни миллионов тонн отходов, которые необходимо утилизировать и рационально использовать. Это возможно осуществить только с применением современных биотехнологий, часто связанных с разведением и использованием разных живых организмов, способных быстро подвергать биодеструкции органические отходы и оказывать положительное влияние на экологическую обстановку [1, 13]. Органические отходы сельскохозяйственного производства и навоз сельскохозяйственных животных

можно эффективно утилизировать при помощи направленной микробиологической ферментации и личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) [12, 18]. В результате деятельности ферментной системы личинок черной львинки и специфической микрофлоры отходы сельского хозяйства превращаются в зоогумус с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, который можно применять в качестве органического удобрения, а биомассу личинок использовать на корм животным, а также для получения белка и жира [3, 5, 6].

Вид мухи *Hermetia illucens* обитает в странах с теплым климатом. Насекомое относится к числу немногих видов беспозвоночных, способных круглогодично развиваться в искусственных условиях, что позволяет использовать его в биотехнологических целях в любых регионах [3]. Большой интерес к культивированию черной львинки обусловлен высокоэффективной биоконверсией личинками этой мухи различных твердых органических отходов и их высокой питательной ценностью, личинки являются идеальным кормом для сельскохозяйственных животных и аквакультуры [16, 19]. Процентное содержание различных веществ в личинках насекомого *Hermetia illucens* зависит от качества корма и может варьировать, но обычно они содержат около 40% белка, 30% жира, хитина 5-7%, обогащены кальцием, фосфором [5]. К числу важных соединений относятся: сырой протеин (42%); липиды (35%); сырая клетчатка (7%); свободный экстракт азота (1,4%); зола (14,6%); кальций (5,0%); фосфор (1,5%), железо (1,0%) [7, 14, 20]. Биомасса личинок используется не только для получения белка, из них также выделяют меланин-хитозановые комплексы для создания антибактериальных препаратов [2, 11]. Именно белок, а точнее белковый концентрат, используется в качестве добавки к кормам домашних и сельскохозяйственных животных. Белковый концентрат состоит из сырого протеина (55%), сырого жира (10%), сырой золы (9%), хитина (8%), кислотное число, мг КОН/кг составляет не более 10, перекисное число, %J не более 0,1 [8, 15]. Аминокислотный состав характеризуется достаточно широкой представленностью: аланин - 4,11%, аргинин - 2,84%, аспарагиновая кислота - 5,56%, валин - 2,84%, гистидин - 2,00%, глицин - 3,31%, глутаминовая кислота - 6,98%, изолейцин - 2,11%, лейцин - 3,85%, лизин - 3,51%, метионин - 1,01%, пролин - 4,08%, серин - 2,55%, тирозин - 3,61%, треонин - 2,52%, триптофан - 0,66%, фенилаланил - 2,28%, цистин - 1,07% [8, 10].

В производстве белкового концентрата для кормов жир личинок является побочным продуктом и, практически, не используется, но исследования последних лет показали, что этот жир имеет близкий к кокосовому

маслу состав, а кокосовое масло активно применяют в косметике, поэтому жир насекомого *Hermetia illucens* может стать важным компонентом для производства косметической продукции. Этот жир получают путем отжима и экстракции из биомассы личинок, он обладает слабовыраженным запахом и цветом (от белого до коричневого), температура плавления около 40°C. Жирнокислотный состав: лауриновая кислота (46,7%), олеиновая кислота (16%), линолевая кислота (11,2%), пальмитиновая кислота (10,6%), миристиновая кислота (7,8%), пальмитолеиновая кислота (2,2%), стеариновая кислота (1,8%), линоленовая кислота (1,6%), каприновая кислота (1,1%), миристолеиновая кислота (0,2%), пентадекановая кислота (0,1%). Соотношение жирных кислот составляет: насыщенные жирные кислоты (68,3%), мононенасыщенные жирные кислоты (18,9%), полиненасыщенные жирные кислоты (12,8%), омега-3 (1,6%), омега-6, (11,2%), омега-9 (16,4%) [10, 17].

Цель работы

Определить оптимальные температурные условия для культивирования насекомого вида *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных видах субстратов, изучить влияние состава субстрата на получение биомассы личинок, белкового концентрата и жира.

Научная новизна

Научная новизна, разрабатываемого проекта, заключается в изучении влияния различных факторов (температура, состав органического субстрата) на культивирование личинок насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка), получение биомассы личинок, белкового концентрата и жира.

Материалы и методы исследования

Научно-исследовательская работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого и инсектарии ООО «Львинка».

Для изучения влияния температуры и состава субстрата на рост и развитие личинок насекомого вида *Hermetia illucens* использовали термостаты (ТС-1/80 СПУ) и помещения инсектария, где поддерживали температуру 18-26°C и влажность воздуха в 65-75%. Опыты закладывали в 8-ми кратной повторности.

Для постановки опыта личинок в количестве 300 шт. особей помещали в стандартные пластиковые контейнеры (15x10x6,5 см) и одинаковые условия при температуре 22°C; учет массы личинок проводили на 9-е и 12-е сутки. Из каждого ящика брали по 100 шт. личинок, их поверхностно промывали, подсушивали и взвешивали каждую пробу. Затем высушивали личинки в сушильном шкафу при 100°C и взвешивали еще раз. В качестве растительных сельскохозяйственных отходов использовали измельченную ботву томатов, ботву огурцов, ботву картофеля и солому зерновых культур. В качестве пищевых отходов использовали хлебные отходы, очистки и некондиционные фрукты и овощи, а также мясные и рыбные отходы, а в качестве отходов животноводства использовали ферментированный навоз крупного рогатого скота. В качестве контроля использовали комбикорм для кормления кур.

В опыте по изучению влияния температуры личинок выращивали на различных субстратах в пластиковых контейнерах площадью 50 см² по 100 шт. в каждом, взвешивание проводили на 12-е сутки.

В опыте по изучению влияния состава корма на содержание в личинках белкового концентрата и жира использовали сушильный шкаф (ШС-80-01 СПУ) и маслопресс (Ravmid modern RMO-03). Личинок сушили и помещали в маслопресс по 100 г в каждой пробе, маслопресс разделял биомассу на белковый концентрат и жир, которые взвешивали, а данные статистически обрабатывали.

Результаты исследования и их обсуждение

В большинстве случаев в биотехнологии утилизации органических отходов используются дикие популяции мух вида *Hermetia illucens* (черная львинка), не адаптированные к определенным видам субстратов и внешним условиям окружающей среды. Основу питания личинок черной львинки обычно составляют плодово-овощные, зерновые и пищевые отходы, а также навоз сельскохозяйственных животных. Как правило, они отличаются от кормов, доступных мухам в естественных условиях. Поэтому практически отсутствуют линии мух адаптированные к конкретным условиям и субстратам, которые можно было бы использовать для проведения экспериментов в качестве контрольной группы в научно-исследовательской работе по усовершенствованию и стабилизации популяции по заданным критериям, таким, как размер личинок, скорость развития и адаптация их к конкретным видам органических отходов.

Изучение влияния различных твердых органических отходов на биомассу живых и высушенных личинок при культивировании их в контролируе-

мых условиях показало, что при кормлении личинок насекомого *H. illucens* лучше всего росли личинки на субстратах, состоящих из мясных и рыбных пищевых отходов и пищевых растительных отходов с добавлением некондиционных фруктов и овощей (табл. 1).

Таблица 1.

Учет массы живых и высушенных личинок, выращенных на различных органических отходах, (масса 100 шт. личинок в г)

№	Вариант корма	На 9 сутки		На 12 сутки		% к контролю	
		Живые	Сухие	Живые	Сухие	Живые	Сухие
1	Комбикорм (контроль)	23,4 ± 1,85	7,8 ± 0,36	26,3 ± 1,48	10,6 ± 0,40	100	100
2	Пищевые отходы (мясные)	25,1±2,01	9,0± 0,66	29,2 ± 1,74	12,1 ± 1,18	110,9	110,9
3	Растительные отходы	19,6 ± 1,66	7,1± 0,41	22,3 ± 0,57	8,6 ± 0,69	84,8	81,3
4	Пищевые отходы (растительные)	24,4 ± 2,28	8,9 ± 0,40	28,2 ± 2,59	11,8 ± 0,50	107,5	113,7
5	Отходы животноводства	20,2 ± 0,90	7,5 ± 0,58	24,2 ± 0,89	9,6 ± 0,54	91,9	90,7

Максимальная масса живых личинок на субстрате с использованием пищевых отходов животного происхождения достигала 29,2 г на 100 шт. личинок, а максимальная масса высушенных личинок – 12,1 г. Это связано с тем, что мясные пищевые отходы содержат большое количество белка. Использование пищевых отходов растительного происхождения с добавлением некондиционных фруктов и овощей показало также хорошие результаты, чему способствовало сбалансированное количество углеводов, крахмала и витаминов, поэтому личинки быстро росли и набирали биомассу. Средний вес живых личинок на 12 сутки был 28,2 г, а высушенных – 11,8 г, что превышало показатели в контрольном варианте, который обычно рекомендуют для кормления маточной популяции личинок, на 7,5% и 13,7% соответственно. Менее интенсивно развивались личинки на субстрате из растительных остатков, средняя масса живых личинок была 22,3 г, а сухеных 8,6 г. Это связано с тем, что данные отходы содержат в своём составе большое количество целлюлозы и гораздо меньшее количество углеводов и белка, поэтому на субстрате такого состава личинки хуже набирали биомассу.

В ходе выполнения исследовательской работы удалось определить, что личинки насекомого *H. illucens* можно использовать для утилизации различных твёрдых органических отходов. Они обладают широким диапазоном пищевых предпочтений, способны развиваться как на богатых белком и углеводами, так и на бедных субстратах. Применение одинаковых субстратов для кормления личинок в течение нескольких поколений будет способствовать появлению линий, адаптированных к данному корму.

Одним из важных факторов, влияющих на рост и развитие личинок насекомого *H. illucens*, кроме состава корма, является температура. Личинки черной львинки могут жить в широком диапазоне температур. Оптимальная температура культивирования во многом зависит от плотности их популяции, так как при высокой плотности, необходимой для эффективной переработки органики, происходит быстрый разогрев субстратов и личинки пытаются расползаться. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Выращивание личинок черной львинки на разных субстратах при различных температурах (масса 100 шт. личинок в г)

№	Вариант корма	t – 18°C		t – 22°C		t – 26°C	
		Живые	Сухие	Живые	Сухие	Живые	Сухие
1	Комбикорм (контроль)	25,5 ± 2,06	6,9 ± 0,58	27,3 ± 1,5	8,0 ± 0,71	27,1 ± 1,48	8,1 ± 0,53
2	Пищевые отходы (мясные)	28,2 ± 2,27	9,45 ± 0,77	30,1 ± 1,87	10,3 ± 0,99	28,7 ± 1,85	10,1 ± 0,77
3	Растительные отходы	21,6 ± 1,99	5,1 ± 0,35	24,0 ± 1,71	7,1 ± 0,53	23,2 ± 1,28	6,7 ± 0,42
4	Пищевые отходы (растительные)	27,2 ± 1,28	8,5 ± 0,57	29,3 ± 2,25	10,3 ± 0,82	28,9 ± 2,06	9,4 ± 0,77
5	Отходы животноводства	23,9 ± 1,83	6,1 ± 0,47	26,1 ± 2,19	7,7 ± 0,65	28,2 ± 1,37	7,3 ± 1,62

Анализ данных таблицы показал, что оптимальной температурой для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens* является t-22°C. При температуре 18°C личинки развивались несколько медленнее и были распределены неравномерно в контейнере, а при t-26°C были активны, но стремились уползти из контейнера, а не нарабатывать биомассу. Наилучшим кормом являются пищевые мясные отходы, биомасса личинок в этом варианте со-

ставляла 30,1 г на 100 живых личинок и 10,3 г на 100 сушеных личинок. Несколько ниже были показатели при кормлении личинок хлебными пищевыми отходами с добавлением некондиционных овощей и фруктов, живые личинки весили 29,3 г, а сушеные 10,3 г. Самые низкие показатели по массе личинок были при использовании растительного корма, живые личинки весили 24,0 г, а сушеные 7,1 г. Такая закономерность обусловлена питательной ценностью корма. Подтверждена возможность культивирования личинок черной львинки на ферментированном навозе крупного рогатого скота.

Для наработки белка и жира из насекомого вида *H. illucens* использовали личинок, выращенных на различных субстратах с целью выяснения какие субстраты можно использовать для получения преимущественно белкового концентрата, а какие для получения жира. Белковый концентрат личинок черной львинки используют в качестве добавки в корма сельскохозяйственным животным и для поддержания аквакультуры, а жир для производства моющих и косметических средств. В таблице 3 представлены данные по содержанию белка и жира в пересчете на 100 г сушеных личинок.

Таблица 3.

Изучение влияния состава корма на содержание белкового концентрата и жира в личинках черной львинки (на 100 г сушеных личинок)

№	Вариант корма	Количество белкового концентрата, г	Количество жира, г
1	Комбикорм (контроль)	54,6 ± 2,83	36,9 ± 4,12
2	Пищевые отходы (мясные)	59,5 ± 4,86	32,3 ± 2,55
3	Растительные отходы	33,9 ± 2,12	57,0 ± 3,43
4	Пищевые отходы (хлебные)	42,3 ± 3,36	48,5 ± 3,14
5	Отходы животноводства	54,1 ± 4,77	32,1 ± 2,08

Как показали результаты соотношение белкового концентрата и жира в личинках зависит от состава корма. В тех типах кормов, где преобладает белок, содержание этого компонента в составе личинок было высоким. Например, при использовании пищевых мясных отходов содержание белкового концентрата было 59,5 г, а жира только 32,3 г, остальную массу составлял хитин. Растительные отходы, используемые для кормления личинок, содержали в своем составе большое количество углеводов и были основой для наработки жира. Например, при использовании в качестве корма пищевых (хлебных) отходов белка было 42,3 г, а жира 48,5 г. Это связано с тем, что хлебные отходы содержат наряду с растительным белком большое количество углеводов. Растительные отходы сами по себе

также богаты углеводами, поэтому, используя их в качестве корма можно получать больше жира (57,0 г) и меньше белкового концентрата (33,9 г). Интересен факт, показывающий, что отходы животноводства на основе навоза крупного рогатого скота, подвергнутые направленной микробиологической ферментации и используемые в качестве корма для личинок черной львинки, способны превращаться преимущественно в белок (54,1 г), жира в этом случае получается значительно меньше (32,1 г), эти показатели сопоставимы с содержанием в личинках белка и жира при кормлении их комбикормом. Комбикорм для кормления кур является практически идеальным субстратом для выращивания маточной популяции личинок насекомого *H. illucens*, но он имеет определенную цену по сравнению с органическими отходами, которые необходимо утилизировать.

Заключение

Изучение влияния различных твердых органических отходов на биомассу живых и высушенных личинок показало, что личинки насекомого *H. illucens* лучше росли и развивались на субстрате, состоящем из мясных и рыбных пищевых отходов. Максимальная масса живых личинок на таком субстрате достигала 29,2 г, а максимальная масса высушенных личинок – 12,1 г. на 100 шт. личинок. Это связано с тем, что мясные пищевые отходы содержат большое количество белка. Использование хлебных пищевых отходов с добавлением некондиционных фруктов и овощей также показало хорошие результаты, чему способствовало сбалансированное количество углеводов, крахмала и витаминов, поэтому личинки росли быстро и набирали биомассу. Средний вес живых личинок на 12 сутки был 28,2 г, а высушенных - 11,8 г, что превышало показатели в контрольном варианте, который обычно рекомендуют для кормления маточной популяции личинок. Менее интенсивно развивались личинки на субстрате из растительных остатков, средняя масса живых личинок была 22,3 г, а сухих 8,6 г. Это связано с тем, что данные отходы содержат в своём составе большое количество целлюлозы и гораздо меньшее количество углеводов и белка, поэтому на субстрате такого состава личинки хуже набирали биомассу.

Оптимальной температурой для культивирования личинок насекомого вида *H. illucens* является $t=22^{\circ}\text{C}$. При температуре 18°C личинки развиваются медленнее и распределены неравномерно в контейнере, а при $t=26^{\circ}\text{C}$ личинки активны, но меньше едят и стремятся уползти из контейнера.

Соотношение белка и жира в личинках насекомого *H. illucens* зависит от состава корма. В тех типах кормов, где преобладает белок, содержание его в личинках было более высокое. Например, при использовании пи-

щевых мясных отходов содержание белкового концентрата было 59,5 г, а жира только 32,3 г, остальную массу составлял хитин. Отходы растительного происхождения более богаты углеводами, поэтому, используя их в качестве корма можно получать больше жира (57,0 г) и меньше белкового концентрата (33,9 г). Отходы животноводства на основе ферментированного навоза крупного рогатого скота превращаются в преимущественно в белок (54,1 г). Проведенное исследование показывает, что для утилизации органических отходов различного происхождения и состава целесообразно использовать личинок насекомого *Hermetia illucens*.

Исследование выполнено в рамках гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники 2021 года «Биотехнологическая утилизация органических отходов при помощи личинок насекомого Hermetia illucens (черная львинка) и получение новых продуктов» по договору №ДС/263 от 25.10.2021 г.

Список литературы

1. Антонов А.М., Lutovinovas E., Иванов Г.А., Пастухова Н.О. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумпольном регионе // Принципы экологии. 2017. Т. 6, № 3. С. 4–19. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2017.6302>
2. Бастратов А.И., Донцов А.Е., Ушакова Н.А. Муха черная львинка *Hermetia illucens* в условиях искусственного разведения – возобновляемый источник меланин-хитозанового комплекса // Известия уфимского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 77–79.
3. Песцов Г.В., Сидоров Р.А., Глазунова А.В., Бутенко С.А. Биотехнологическая утилизация органических отходов с помощью насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка)// Проблемы научной мысли. 2021. Т. 7, № 4. С. 23-25.
4. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. N 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>
5. Ушакова Н. А., Некрасов Р. В. Перспективы использования насекомых в кормлении сельскохозяйственных животных. Биотехнология: состояние и перспективы развития // Материалы VIII Московского международного конгресса ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д. И. Менделеева. Москва, 17–20 марта 2015 г. М., 2015. С. 147–149.
6. Alvarez L. The Role of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in Sustainable Waste Management in Northern Climates, Electronic Theses and Dissertations. 2012, P. 402.

7. Barragan-Fonseca K., Pineda-Mejia J., Dicke, M., van Loon J.J.A. Performance of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) on Vegetable Residue-Based Diets Formulated Based on Protein and Carbohydrate Contents // J. Econ. Entomol. 2018. <https://doi.org/10.1093/jee/toy270>
8. Dabbou S., Gai F., Biasato I., Capucchio M.T., Biasibetti E., Dezzutto D., Meneguz M., Placha I., Gasco L., Schiavone A. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features // J. Anim. Sci. Biotechnol. 2018. Vol. 13, N. 10. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
9. Diener S., Studt S.N., Roa G.F., Zurbrugg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier y larvae // Waste Biomass Valorization. 2011. Vol. 2, N. 4. P. 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
10. 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 Manag. 2020. Vol. 102. P. 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>
11. Giannetto A., Oliva S., Cecon Lanés C.F., de Araujo Pedro F., Savastano D., Baviera C., Parrino V., Lopardo G., Spano N.C., Cappello T., et al. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism // J. Biotechnol. 2020. Vol. 307. P. 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>
12. Kenis M., Kone N., Chrysostome C.A.A.M., Devic E., Koko G.K.D., Clotley V.A., Nacambo S., Mensah G.A. Insects used for animal feed in West Africa // Entomologia. 2014. Vol. 2. <https://doi.org/10.4081/entomologia.2014.218>
13. Khan S.H. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition // J. Appl. Anim. Res. 2018. Vol. 46. P. 1144–1157. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1474743>
14. Laureati M., Proserpio C., Jucker C., Savoldelli S. New sustainable protein sources: Consumers' willingness to adopt insects as feed and food // Ital. J. FoodSci. 2016. Vol. 28. P. 652–668.
15. Li Q., Zheng L., Cai H., Garza E., Yu Z., Zhou S. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible // Fuel. 2011. Vol. 90. P. 1545–1548. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.016>
16. 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. P. 349. <https://doi.org/10.3390/ani9060349>
17. Mai H.C., Dao N.D., Lam T.D., Nguyen B.V., Nguyen D.C., Bach L.G. Purification Process, Physicochemical Properties, and Fatty Acid Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) Larvae Oil // J. Am. Oil Chem. Soc. 2019. Vol. 96. P. 1303–1311. <https://doi.org/10.1002/aocs.12263>

18. Ruhnke I., Normant C., Campbell D.L.M., Iqbal Z., Lee C., Hinch G.N., Roberts J. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens // Anim. Nutr. 2018. Vol. 4. P. 452–460. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.005>
19. Schiavone A., Dabbou S., De Marco M., Cullere M., Biasato I., Biasibetti E., Capucchio M.T., Bergagna S., Dezzutto D., Meneguz M., et al. Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source // Animal. 2018. Vol. 12. P. 2032–2039. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003743>
20. Schiavone A., De Marco M., Martinez, S., Dabbou S., Renna M., Madrid J., Hernandez F., Rotolo L., Costa P., Gai F., et al. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility // J. Anim. Sci. Biotechnol. 2017. Vol. 8. P. 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0181-5>

References

1. Antonov A.M., Lutovinovs E., Ivanov G.A., Pastuhova N.O. *Adaptatsiya i perspektivy razvedeniya mukhi Chernaya l'vinka (Hermetia illucens) v tsirkumpolyarnom regione* [Adaptation and prospects of breeding of the Black soldier fly (*Hermetia illucens*) in the circumpolar region]. Printsipy ekologii, 2017, vol. 6, no. 3, pp. 4–19. <https://doi.org/10.15393/j1.art.2017.6302>
2. Bastrakov A.I., Doncov A.E., Ushakova N.A. Mukha chernaya l'vinka *Hermetia illucens* v usloviyakh iskusstvennogo razvedeniya – vozobnovlyаемый источник меланин-хитозанового комплекса [*Hermetia illucens* black soldier fly under artificial breeding conditions is a renewable source of melanin–chitosan complex]. Izvestiya ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2016, no. 4, pp. 77–79.
3. Pestov G.V., Sidorov R.A., Glazunova A.V., Butenko S.A. Biotekhnologicheskaya utilizatsiya organicheskikh otkhodov s pomoshch'yu nasekomogo *Hermetia illucens* (chernaya l'vinka) [Biotechnological utilization of organic waste using the insect *Hermetia illucens* (black soldier fly)]. Problemy nauchnoy mysli, 2021, vol. 7, no. 4, pp. 23–25.
4. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 N 204 “On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024”. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027>
5. Ushakova N.A., Nekrasov R.V. *Perspektivy ispol'zovaniya nasekomykh v kormlenii sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh. Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya. Materialy VIII Moskovskogo mezhdunarodnogo kongressa ZAO «Ekspo-biohim-tekhnologii», RHTU im. D. I. Mendeleeva* [Materials of the

- VIII Moscow International Congress / Expo-Biochim-Technologies CJSC, D. I. Mendeleev]. Moscow, March 17–20, 2015, Moscow, 2015, pp. 147–149.
6. Alvarez L. The Role of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in Sustainable Waste Management in Northern Climates, Electronic Theses and Dissertations. 2012, p. 402.
 7. Barragan-Fonseca K., Pineda-Mejia J., Dicke, M., van Loon J.J.A. Performance of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) on Vegetable Residue-Based Diets Formulated Based on Protein and Carbohydrate Contents. *J. Econ. Entomol.*, 2018. <https://doi.org/10.1093/jee/toy270>
 8. Dabbou S., Gai F., Biasato I., Capucchio M.T., Biasibetti E., Dezzutto D., Meneguz M., Placha I., Gasco L., Schiavone A. Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2018, vol. 13, no. 10. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
 9. Diener S., Studt S.N., Roa G.F., Zurbrugg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valorization*, 2011, vol. 2, no. 4, pp. 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
 10. 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 Manag.*, 2020, vol. 102, pp. 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>
 11. Giannetto A., Oliva S., Ceccon Lanes C.F., de Araujo Pedro F., Savastano D., Baviera C., Parrino V., Lopardo G., Spano N.C., Cappello T., et al. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. *J. Biotechnol.*, 2020, vol. 307, pp. 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>
 12. Kenis M., Kone N., Chrysostome C.A.A.M., Devic E., Koko G.K.D., Clotley V.A., Nacambo S., Mensah G.A. Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia*, 2014, vol. 2. <https://doi.org/10.4081/entomologia.2014.218>
 13. Khan S.H. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *J. Appl. Anim. Res.*, 2018, vol. 46, pp. 1144–1157. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1474743>
 14. Laureati M., Proserpio C., Jucker C., Savoldelli S. New sustainable protein sources: Consumers' willingness to adopt insects as feed and food. *Ital. J. Food Sci.*, 2016, vol. 28, pp. 652–668.
 15. Li Q., Zheng L., Cai H., Garza E., Yu Z., Zhou S. From organic waste to bio-diesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel*, 2011, vol. 90, pp. 1545–1548. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.016>

16. 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, p. 349. <https://doi.org/10.3390/ani9060349>
17. Mai H.C., Dao N.D., Lam T.D., Nguyen B.V., Nguyen D.C., Bach L.G. Purification Process, Physicochemical Properties, and Fatty Acid Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) Larvae Oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2019, vol. 96, pp. 1303–1311. <https://doi.org/10.1002/aocs.12263>
18. Ruhnke I., Normant C., Campbell D.L.M., Iqbal Z., Lee C., Hinch G.N., Roberts J. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. *Anim. Nutr.*, 2018, vol. 4, pp. 452–460. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.005>
19. Schiavone A., Dabbou S., De Marco M., Cullere M., Biasato I., Biasibetti E., Capucchio M.T., Bergagna S., Dezzutto D., Meneguz M., et al. Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal*, 2018, vol. 12, pp. 2032–2039. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003743>
20. Schiavone A., De Marco M., Martinez, S., Dabbou S., Renna M., Madrid J., Hernandez F., Rotolo L., Costa P., Gai F., et al. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2017, vol. 8, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0181-5>

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Песцов Георгий Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий микробиологической лабораторией центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии» Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
georgypestsov@gmail.com

Третьякова Анастасия Валерьевна, аспирант кафедры биологии и технологии живых систем, младший научный сотрудник центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии» Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
glazynovaanastasiya@gmail.com

Прокудина Ольга Владимировна, магистрант 1 курса кафедры биологии и технологии живых систем, лаборант технопарка универсальных педагогических компетенций
*Тульский государственный педагогический ун-т им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
prokudinaolga11@gmail.com*

Бутенко Сергей Алексеевич, директор
*ООО «Львинка»
пл. Октября, 6, г. Белев, 301530, Российская Федерация
b@lvinka.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Georgiy V. Pestsov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Microbiological Laboratory of the Center for Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
georgypestsov@gmail.com*

Anastasia V. Tretyakova, Postgraduate at the Department of Biology and Technology of Living Systems, research assistant Center of Technological Excellence “Advanced Chemical and Biotechnology”
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
glazynovaanastasiya@gmail.com*

Olga V. Prokudina, 1st year Master’s student of the Department of Biology and Technology of Living Systems, laboratory assistant of the Technopark of Universal Pedagogical Competencies
*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
prokudinaolga11@gmail.com*

Sergey A. Butenko, Director
*LLC “Lvinka”
6, October pl., Belev, 301530, Russian Federation
b@lvinka.ru*

Поступила 14.10.2022

После рецензирования 01.11.2022

Принята 28.11.2022

Received 14.10.2022

Revised 01.11.2022

Accepted 28.11.2022