

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-74-91

УДК 595.772: 591.61



Научная статья | Насекомые

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ С НАСЕКОМЫМИ ВИДА *HERMETIA ILLUCENS*

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

Обоснование. Насекомое вида *Hermetia illucens* (чёрная львинка), широко используется для утилизации пищевых и сельскохозяйственных отходов. Это связано с всеядностью мухи по отношению к белковой и углеводной пище и быстрым репродуктивным циклом. Большой проблемой промышленного культивирования этого насекомого является вырождение популяций черной львинки.

При размножении в неволе из-за относительно малой численности популяций происходит деградация ключевых параметров культуры *H. illucens*, таких как жизнеспособность, плодовитость, продуктивность и др. Замечено, что в течение первых пяти поколений, несмотря на полигамию при скрещивании, проявляется действие вредных рецессивных аллелей, находящихся в гомозиготном состоянии.

В настоящее время проблема вырождения мух, связанная с инбредной депрессией, решается массовым культивированием больших аутбредных популяций в садках, с периодической реинтродукцией производителей из природных популяций.

Цель. Разработка метода скрещивания линий мух *Hermetia illucens* для селекционной работы, определения закономерностей развития популяций, увеличения их продуктивности и адаптационного потенциала.

Материалы и методы. В селекционной работе с линиями насекомого вида *H. illucens* использовали индивидуальное скрещивание. Для индивидуального скрещивания подбирали личинок и куколок по размерам и массе тела. Скрещивания проводили по схеме: одного самца и одну самку помещали в пластиковые контейнеры при поддержании необходимой температуры и влажности. Яйца, полученные от этой пары мух, помещали на питательный субстрат в

отдельный контейнер, вылупившихся личинок культивировали изолированно в этом же контейнере.

В процессе роста, отбирали самых крупных личинок и куколок из этой популяции. После формирования взрослых особей (имаго) мух, их осматривали, определяли половую принадлежность и помещали опять одного самца и одну самку в отдельный контейнер. Таким образом, получали инбредные линии изофеминных потомков одной самки, в дальнейшем подвергаемых инбридингу мух.

Результаты. Разработанный нами метод индивидуального скрещивания позволил проследить развитие популяций мух, полученных от одной самки и одного самца, рассмотреть происходящие закономерности и изменения в популяции. Определена тенденция вырождения популяции мух при близкородственном скрещивании, в каждом последующем поколении оплодотворённых яиц и личинок было меньше. Это связано с тем, что проявляют своё действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволят создать популяцию, лишённую большинства летальных и вредных генов и перейти к чистым линиям.

Заключение. В результате проведённой научно-исследовательской работы удалось разработать метод индивидуального скрещивания самцов и самок насекомого *Hermetia illucens*. Было определено, что время отрождения максимального количества личинок происходит на 3-4 суток после откладки яиц. При близкородственном скрещивании определена тенденция вырождения популяции мух, в каждом последующем поколении оплодотворённых яиц и личинок было меньше. Это связано с тем, что проявляют своё действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволят создать популяцию, лишённую большинства летальных и вредных генов. Чистые линии мух обладают стабильными признаками для данного вида и, несмотря на снижение количества оплодотворённых яиц в кладках, а также меньшее количество личинок, полученных из них, они обладают нормальным распределением размера и массы тела, что позволяет вести отбор на хозяйственно ценные признаки.

Ключевые слова: чистые линии; индивидуальное скрещивание; *Hermetia illucens*; инбридинг; инбредное угнетение; вырождение; чёрная львинка

Для цитирования. Песцов Г.В., Прокудина О.В., Третьякова А.В., Бутенко С.А. Разработка методов селекционной работы с насекомыми вида *Hermetia illucens* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №2. С. 74-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-74-91

DEVELOPMENT OF METHODS OF BREEDING WORK WITH INSECTS OF THE SPECIES *HERMETIA ILLUCENS*

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

Background. The insect *Hermetia illucens* (black soldier fly), is widely used for the disposal of food and agricultural waste. This is due to the omnivorous nature of the fly in relation to protein and carbohydrate foods and a fast reproductive cycle. The big problem of industrial cultivation of this insect is the degeneration of populations of the black soldier fly. When bred in captivity, due to the relatively small number of population, the degradation of key parameters, such as viability, fertility, productivity, etc. of *H. illucens* culture occurs. It is noted that during the first five generations, despite polygamy during crossing, the effect of harmful recessive alleles in a homozygous state manifests itself. Currently, the problem of degeneration of flies associated with inbred depression is solved by mass cultivation of large outbred populations in cages, with periodic reintroduction of producers from natural populations.

Purpose. Development of a method for crossing lines of *Hermetia illucens* flies for breeding, determining patterns of population development, as well as increasing their productivity and adaptive potential.

Materials and Methods. In selection work with the lines of the insect species *H. illucens*, individual crossing was used. Individual selections were made by selecting larvae and pupae by size and body weight. The crosses were carried out according to the scheme: one male and one female were placed in plastic containers while maintaining the required temperature and humidity. Eggs obtained from this pair of flies were placed on a nutrient substrate in a separate container, hatched larvae were cultured in isolation in the same container. During the growth process, the largest larvae and pupae from this population were selected. After the formation of adult individuals (images) of flies, they were examined, their sex was determined and again one male and one female were placed in a separate container. Thus, inbred lines of isofemale (descendants of one female) flies were obtained.

Results. We developed the method of individual crossing made it possible to trace the development of populations of flies obtained from one female and one male, to consider the patterns and changes in the population. The tendency of

the degeneration of the fly population in inbred crosses was determined, in each subsequent generation there were fewer fertilized eggs and larvae. This is due to the fact that recessive lethal genes become homozygous and manifest their effect. Subsequent selections in each generation of the largest and most active larvae will create a population devoid of most lethal and harmful genes.

Conclusions. *As a result of the research work carried out, it was possible to develop a method of individual crossing of males and females of the insect *Hermetia illucens*. It was determined that the time from oviposition onset to the maximum number of larvae occurs on 3-4th day after egg laying. With the crossing of close relatives, the tendency of the degeneration of the fly population was determined, in each subsequent generation there were fewer fertilized eggs and larvae. This is due to the manifestation of recessive lethals. Subsequent selections in each generation of the largest and most active larvae will create a population devoid of most lethal and harmful genes. Populations of inbred flies have stable characteristics for this species and, despite a decrease in the number of fertilized eggs in clutches, as well as a smaller number of larvae obtained from them, they have normal distribution of size and body weight, which allows selection for economically valuable traits.*

Keywords: *pure lines; outbred crossing; *Hermetia illucens* inbreeding; inbred depression; degeneration; black soldier fly*

For citation. *Pestsov G.V., Prokudina O.V., Tretyakova A.V., Butenko S.A. Development of methods of breeding work with insects of the species *Hermetia illucens*. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 74-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-2-74-91*

В условиях роста численности населения, глобального изменения климата и сокращения природных ресурсов потребность в устойчивых сельскохозяйственных системах очевидна. Доказано, что разведение насекомых является экологически чистой альтернативой традиционному животноводству [6].

Вид мухи – *Hermetia illucens* (чёрная львинка) является эндемичным видом мух из тропических, субтропических умеренно тёплых зон Америки. Насекомое относится к числу немногих видов беспозвоночных, способных круглогодично развиваться в чистой культуре в замкнутом пространстве искусственных условий, что позволяет использовать вид в биотехнологических целях вне зависимости от климатических условий [3]. В наши дни биотехнология, как перспективное направление науки, связанное с разведением разных живых организмов в производственных условиях, имеет огромное экологическое и биологическое значение [1]. Вид

H. illucens представляет большой интерес, поскольку личинки данного насекомого способны к высокоэффективной биоконверсии целого спектра органических отходов [17, 18]. Личинки и предкуколки чёрной львинки содержат около 40% протеина, 30% жира, хитин составляет 5-7%, обогащены кальцием, фосфором. В составе жирных кислот 50% приходится на лауриновую кислоту. Питаясь практически любыми отходами биологического происхождения, личинки чёрной львинки активно набирают свою массу, что даёт возможность получения качественного белкового продукта для производства кормов [2, 4, 16].

В результате утилизации органических отходов сельскохозяйственного производства личинками насекомого *H. illucens* они превращаются в однородную компостируемую массу (зоогумус) с повышенным содержанием азота, фосфора, калия и микроэлементов, которую можно использовать в качестве органического удобрения или улучшателя почвы. В отличие от других методов утилизации отходов, таких как сжигание, компостирование, высушивание, высокотемпературная ферментация, данный способ биоконверсии является экологически безопасным, а его реализация не требует больших материальных затрат. В настоящее время во многих странах Америки, Европы, Азиатского региона, Африки, Новой Зеландии и Австралии отмечается повышенный интерес к такому насекомому в связи с возможностью их массового разведения в искусственных условиях и использования в кормах для сельскохозяйственных животных, птицы и рыбы [7, 8, 15].

Полный цикл жизни насекомого вида *H. illucens* (от яиц до имаго) занимает порядка одного-двух месяцев. Для разведения чёрной львинки необходима постоянная температура (22-29°C), влажность (70-80%) и достаточная освещённость [9, 13].

Жизненный цикл мух *Hermetia illucens* включает в себя несколько фаз развития [5]. После вылупления мух из куколок, взрослые особи спариваются на третий день жизни и через несколько дней самка откладывает во влажный, содержащий органические вещества субстрат от 300 до 1000 яиц. Через несколько дней из них вылупляются личинки насекомого, размером 1-2 мм, которые интенсивно усваивают органический субстрат, растут и развиваются в течение 14-20 суток, достигая 30 мм в длину, до 6 мм в ширину и веса 300-350 мг. Когда личинки достигают финальной стадии развития, они превращаются в предкуколок, затем находят сухое и тёмное место, превращаются в куколки, из которых впоследствии выводятся взрослые особи мух и жизненный цикл повторяется. Продолжительность каждой фазы

сильно зависит от условий окружающей среды (температуры, влажности и освещённости). Ключевой фазой биотехнологического производства является развитие личинок, когда они перерабатывают органические отходы и нарабатывают биомассу. Пищевая ценность личинок, соотношение белков и жиров зависит от субстрата, на котором они выращивались. На субстратах с повышенным количеством белка и углеводов набор биомассы личинками происходит быстрее и эффективнее [14, 19, 20].

Цель работы

Разработка метода индивидуального скрещивания линий мух *Hermetia illucens* для селекционной работы, определения закономерностей развития популяций, увеличения их продуктивности и адаптационного потенциала.

Научная новизна

Насекомое *Hermetia illucens* относится к числу немногих видов беспозвоночных, способных круглогодично развиваться в чистой культуре в замкнутом пространстве и искусственных условиях, что позволяет использовать этот вид в биотехнологических целях. Поэтому чёрную львинку возможно разводить в регионах и с холодными климатическими условиями. Широкую популярность насекомое *H. illucens* получило за счёт высокоэффективной био конверсии различных твёрдых органических отходов, а также высокой питательной ценности личинок, которые можно использовать в качестве добавок к корму сельскохозяйственных животных и аквакультуры. Одной из актуальных проблем при промышленном культивировании этого насекомого является снижение плодовитости и продуктивности популяций *H. illucens* вследствие накопления вредных рецессивных аллелей, находящихся в гомозиготном состоянии (инбредная депрессия) [10].

Замечено, что в течение первых пяти поколений, несмотря на полигамию при скрещивании, проявляется действие вредных рецессивных аллелей, находящихся в гомозиготном состоянии. В настоящее время проблема вырождения мух, связанная с инбредной депрессией, решается массовым культивированием больших аутбредных популяций в садках, с периодической реинтродукцией производителей из природных популяций [11].

Выведение инбредных (чистых) линий мух, позволит добиться генетической однородности и сохранения постоянства популяции, так как при близкородственном скрещивании происходит элиминация вредных и летальных генов. Также важно проводить постоянный индивидуальный искусственный

отбор по хозяйственно ценным признакам (размеры личинок, скорость роста и т.д.) с целью их закрепления в потомстве. Такая работа с популяцией, и передача из поколения в поколение определённых качеств и свойств даст возможность стабилизировать проявление хозяйственно ценных признаков и повысить продуктивность личинок насекомого вида *H. illucens*. Таким образом, индивидуальный отбор, скрещивание, выведение чистых линий чёрной львинки и дальнейшая селекционная работа с ними даст возможность получить линии насекомого с заданными свойствами [12].

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». Объектом исследования были линии насекомого *H. illucens*.

В селекционной работе над линиями насекомого вида *Hermetia illucens* использовали индивидуальное неродственное (аутбредное) и близкородственное (инбредное) скрещивание. Индивидуальный отбор совершали путём подбора личинок и куколок по размерам и массе тела. Скрещивания проводили по схеме: одного самца и одну самку помещали в пластиковые контейнеры объёмом 2 л и 5 л, в которых поддерживали необходимую температуру и влажность. В первом поколении отобрали три пары мух, а в последующих поколениях из потомков каждой пары отобрали по 8 пар от одних родителей и спаривали их. В контейнеры помещали поилки с водой и приспособления для откладки яиц, состоящие из полос (3х6 см) гофрированного картона, который проверяли каждый день на наличие там отложенных мухами яиц. Яйца, полученные от этой пары мух, помещали на питательный субстрат на основе комбикорма в отдельный контейнер, вылупившихся личинок культивировали изолированно в этом же контейнере, фиксировали вылупление, рост и развитие личинок, ежедневно добавляли новый корм. В процессе роста личинок, отобрали самых крупных личинок, отмечали переход личинок в фазу предкуколки и куколки и затем отобрали самые крупные предкуколки и куколки из этой же популяции.

Куколки помещали в контейнеры объёмом 5 л и ждали появления из них новых взрослых особей, отобрали самку и самца, которых затем помещали в отдельные контейнеры для получения яиц и возобновления цикла воспроизводства мух. После формирования взрослых особей (имаго) мух,

их осматривали, определяли половую принадлежность и снова помещали одного самца и одну самку в отдельный контейнер. Таким образом, получали линии изофеминных инбредных (потомков одной самки) мух.

Спаривание мух происходило при 28°C. Для повышения адаптационного потенциала яйца и личинки содержали при температуре 22°C. Отмечали у различных пар количество яиц в кладке, количество личинок и их развитие.

Затем брали 1 г яиц и на протяжении 7 суток следили за количеством вылупившихся личинок, отмечая на какой день сколько штук личинок появилось.

На 6-е сутки после вылупления личинок отбирали по размеру и массе: изначальная гетерогенная популяция (Mix), мелкие, средние, крупные. Затем из каждого ящика брали пробу по 100 штук личинок в восьмикратной повторности, каждую пробу промывали от субстрата, поверхностно высушивали и взвешивали. После этого личинок высушивали в сушильном шкафу при температуре 95-100°C и определяли среднюю массу высушенных личинок в повторностях. В качестве корма использовали субстрат на основе комбикорма. Учёт массы проводили на 6-е и 9-е сутки.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что при близкородственном скрещивании вероятность проявления летальных генов велика, но, наряду с этим, могут появляться особи с явно фенотипически проявляемыми хозяйственно ценными признаками, которые вследствие меньшего влияния других генов, можно будет закрепить в последующих поколениях. В эксперименте фиксировали количество яиц в кладке и количество вылупившихся личинок. Отбор проводили, выбирая самые крупные жизнеспособные особи, которые затем использовали для получения, следующего поколения мух. Из выбранных личинок получали предкуколки и куколки, а затем и имаго, которые помещали в отдельные контейнеры и добивались индивидуального спаривания одной самки и одного самца из каждой линии. Всего было проанализировано три поколения мух, а также количество и жизнеспособность яиц (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что среднее количество яиц в кладке и вылупившихся личинок было больше у пары 1, что свидетельствует о возможном наследственном характере этого признака. Количество личинок во всех случаях было меньше, чем количество яиц, значит, не все яйца были оплодотворены. Также видна тенденция вырождения популяции мух при близкородственном скрещивании, в каждом последующем поколе-

нии оплодотворенных яиц и личинок было меньше, а также уменьшалась средняя масса личинок. Это связано с тем, что проявляют своё действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволяют создать линию, лишённую большинства летальных и вредных генов.

Таблица 1.

**Характеристики развития потомства насекомого *H. illucens*
при получении инбредных линий**

№ пары мух	Среднее количество яиц в кладке	Среднее количество личинок в выводке	Средняя масса 100 личинок на 9 сутки, г
1-е (аутбредное) поколение			
1	449,7 ± 37,64	358,2 ± 22,21	28,1 ± 1,55
2	348,1 ± 20,98	280,0 ± 10,86	26,7 ± 0,78
3	277,5 ± 22,55	214,6 ± 13,41	27,0 ± 1,43
2-е (инбредное) поколение			
1	325,4 ± 20,55	261,9 ± 22,41	26,7 ± 1,93
2	290,4 ± 22,27	223,0 ± 19,42	24,0 ± 1,71
3	220,7 ± 16,50	152,0 ± 12,86	22,8 ± 1,07
3-е (инбредное) поколение			
1	275,6 ± 21,98	212,7 ± 18,78	25,9 ± 1,55
2	179,7 ± 14,78	140,5 ± 11,43	21,9 ± 1,89
3	111,4 ± 10,27	55,5 ± 3,14	19,1 ± 1,55

Для селекционного процесса чистых линий насекомого *H. illucens* крайне важно знать, когда, на какие сутки после откладки яиц происходит массовое отрождение личинок, так как в дальнейшем это может быть связано с рентабельностью производства при использовании биотехнологии утилизации органических отходов.

В результате проведённой научно-исследовательской работы было установлено, что личинки вылупляются из яиц неравномерно (рис. 1)

На вторые сутки в среднем вылуплялось 34,4 шт. личинок, максимального количества вылупившиеся личинки достигали на третьи сутки (в среднем, 470,1 шт.), затем, в течение суток, количество вновь появившихся личинок несколько уменьшалось (443,5 шт.), а в течение последующих двух суток наблюдали резкое снижение количества вылупившихся личинок, на пятые сутки 13,2 шт., а на шестые только 4,4 шт. Анализируя представленные данные можно сказать, что оптимальным сроком получе-

ния максимального количества личинок являются 3-и и 4-е сутки, дальнейшее ожидание и использование инкубатора для вылупления личинок значительно снижает рентабельность их производства, эти данные служат обоснованием для построения технологического регламента для максимального воспроизводства популяции изофеминных линий насекомого *H. illucens* при минимальных затратах.



Рис. 1. Динамика вылупления личинок насекомого вида *Hermetia illucens* из 1 г яиц.

В результате изучения развития потомства личинок насекомого *H. illucens*, полученных от самых крупных особей, было обнаружено, что у личинок, вылупившихся из однодневной кладки на 4-й день культивирования размеры варьируют от 3 мм до 9 мм и наблюдается следующее распределение: крупные личинки составляют 15%, мелкие личинки 25% и личинки среднего размера 60%. Для понимания тенденций развития крупных, средних и мелких особей при дальнейшем культивировании личинок, полученной от одних родителей, каждую фракцию личинок отбирали по размерам и культивировали отдельно. Взвешивание живых и сушёных особей проводили на 6-е и 9-е сутки (табл. 2).

В результате эксперимента было установлено, что линия личинок насекомого *H. illucens*, полученная в результате инбридинга, обладает нормальными массовыми параметрами, характерными для данного вида насекомого в соответствии с исследуемыми временными диапазонами. В

популяции наблюдается распределение личинок на крупные (15%), средние (60%) и мелкие (25%).

Таблица 2.

**Распределение массы живых и высушенных личинок
в популяции насекомого *H. illucens***

Личинки	Средняя масса 250 шт. личинок, г			
	6 суток		9 суток	
	живые	высушенные	живые	высушенные
Міх (контроль)	31,6 ± 3,52	9,7 ± 0,70	56,8 ± 5,21	19,0 ± 1,90
Мелкие	24,5 ± 2,57	7,7 ± 0,79	45,5 ± 5,43	16,4 ± 1,12
Средние	31,5 ± 3,25	9,7 ± 0,70	57,5 ± 5,43	19,1 ± 1,55
Крупные	37,9 ± 3,55	11,1 ± 1,27	62,23 ± 4,39	22,9 ± 1,84

Если взять каждую фракцию личинок и культивировать отдельно, то произойдет такое же распределение по размерам. Из чего следует, что данное распределение запрограммировано и необходимо для нормального функционирования популяции в целом. Причем в популяциях как средних, так и мелких личинок появляются крупные особи, которые по своим размерам догоняют крупных личинок. Такое повторяющееся в поколениях околонормальное распределение размеров указывает на значительную гомогенность популяции относительно генов размера личинок. Однако суммарная масса популяции личинок, отобранных как изначально крупные была выше и достигала на 9-е сутки живых 62,23 г, а сухих 22,9 г, при средней массе 57% и 31,5 г соответственно. Обратное, т.е. уменьшение средней живой (до 45,5 г.) и сухой (до 16,4 г.) массы характерно для потомства мелких личинок. Это свидетельствует о целесообразности отбора и возможном закреплении признаков массы в потомстве.

Заключение

В результате проведенной научно-исследовательской работы разработан метод индивидуального скрещивания самцов и самок насекомого *Hermetia illucens*. Было определено, что время отрождения максимального количества личинок приходится на 3-4 сутки после откладки яиц. При близкородственном скрещивании определена тенденция вырождения популяции мух, в каждом последующем поколении оплодотворенных яиц и личинок было меньше. Это связано с тем, что проявляют своё действие рецессивные летальные гены, переходящие при инбридинге в гомозиготное состояние. Последующий отбор в каждом поколении самых крупных и массивных ли-

чинок позволят создать популяцию, лишённую большинства летальных и вредных генов. Популяции выведенных мух обладают стабильными признаками для данного вида и, несмотря на снижение количества оплодотворенных яиц в кладках, а также меньшее количество личинок, полученных из них, они обладают нормальным распределением размера и массы тела, что облегчает отбор на хозяйственно ценные признаки.

*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 циркулярном регионе // Принципы экологии. 2017. Т. 6, № 3. С. 4-19.
2. Бастраков А.И., Загоринский А.А., Козлова А.А. Высокоэффективная биоконверсия органических субстратов личинками Черной львинки (*Hermetia illucens*) // Биотехнология и качество жизни: материалы Международной науч.-практ. конф. Казань, 2014, С. 418-419.
3. Бастраков А.И. Ушакова Н.А. Переработка птичьей пометной подстилки личинками Черной львинки (*Hermetia illucens*) // Биотехнология: состояние и перспективы развития: материалы VIII Московского Межд. Конгресса. М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015, С. 350-351.
4. Некрасов Р.В., Ушакова Н.А., Чабаев М.Г. Личинки мухи Черный солдат (*Hermetia illucens*) в питании животных // Современные достижения и проблемы биотехнологии сельскохозяйственных животных: Материалы 10-й Всерос. конф.-школы молодых ученых Дубровицы.: ВИЖ, 2015, С. 237-143.
5. 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.
6. Saprionova Zh.A., Shoukhov V.G., Sverguzova S.V., Svyatchenko A.V., Shaikhiiev I.G. Использование насекомых в сельском хозяйстве – путь к рациональному природопользованию // Construction economic and environmental management. 2020. Vol. 77, № 4. P. 5-9.

7. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a waste: a global review of solid waste management. World Bank.: Washington, 2012, Vol. 15, 116 p.
8. Hume, D. A., Whitelaw, C. B. A., Archibald, A. L. The future of animal production: improving productivity and sustainability // *Agricultural Science*. 2011. Vol. 149, No. S1. P. 9–16. <https://doi.org/10.1017/s0021859610001188>
9. Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing / Carina D. Heussler, Andreas Walter, Hannes Oberkofler, Heribert Insam, Wolfgang Arthofer, Birgit C. Schlick-Steiner, Florian M. Steiner // *PLOS ONE*. 2018. Vol. 11, No. 5. P. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197896>
10. Insights in the Global Genetics and Gut Microbiome of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*: Implications for Animal Feed Safety Control Fathiya / Khamis M., Ombura1 F.L.O., Akutse1 K. S., Subramanian S., Mohamed S.A., Fiaboe K. K.M., Weerachai S., Joop J. A. Van Loon, Dicke M., Dubois T., Ekesi S., Tanga C.M. // *Frontiers in Microbiology*. 2020. Vol. 11. P. 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01538>
11. Kou Zongqing, Jian Xu, Jun Xu, Longyu Zheng. Genomic landscape and genetic manipulation of the black soldier fly *Hermetia illucens*, a natural waste recycler // *Cell Research*. 2019. Vol. 11. P.12. <https://doi.org/10.1038/s41422-019-0252-6>
12. Long-Term Artificial Selection for Increased Larval Body Weight of *Hermetia illucens* in Industrial Settings / Facchini E., Shrestha K., Boer E.v.d., Junes P., Sader G., Peeters K., Schmitt E. // *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. P.9. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.865490>
13. Macavei L.I., Benassi G., Stoian V., Maistrello L. Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions // *PLOS ONE*. 2020. 18 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232144>
14. Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) / Bertrand H., Grégoire N., Joachim C., Frédéric F., Rudy C. M. // *PLOS ONE*. 2019. P. 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216160>
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. Vol. 1, No. 3. P. 179-193. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0024>
16. Paz A.S., Carrejo N.S., Gymez Rodríguez C.H. Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.) // *Waste Biomass*. 2015. Vol 6, P. 1059–1065. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>

17. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) /Choi Y., Choi J., Kim J., Kim M., Kim W., Park K., Bae S., Jeong G. // International Journal of Industrial Entomology. 2009. Vol. 19, No.1. P. 171-174.
18. 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. P.13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
19. Threshold Temperatures and Thermal Requirements of Black Soldier Fly *Hermetia Illucens*: Implications for Mass Production / Chia S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe K. K. M., Niassy, S., van Loon, J. J. A., Dicke M., Ekesi S. // PLOS ONE. 2018. Vol. 13, No. 11. P. 26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
20. Technical handbook of domestication and production of diptera black soldier fly (bsf) *hermetia illucens*, stratiomyidae / Caruso D., Devic E., I Subamia W., Talamond P., Baras E.: PT Penerbit IPB Press Kampus IPB Taman Kencana Bogor, 2013. 159 p.

References

1. Antonov A. M., Lutovinovas E., Ivanov G. A., Pastukhova 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., Zagorinskiy A.A., Kozlova A.A. Vysokoeffektivnaya biokonversiya organicheskikh substratov lichinkami Chernoy l'vinki (*Hermetia illucens*) [Highly effective bioconversion of organic substrates by larvae of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*)]. *Biotekhnologiya i kachestvo zhizni: materialy Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf.* [Biotechnology and quality of life: materials of the International scientific and practical. conf.]. Kazan, 2014, pp. 418-419.
3. Bastrakov A.I. Ushakova N.A. Pererabotka ptich'ey pometnoy podstilki lichinkami Chernoy l'vinki (*Hermetia illucens*) [Processing of bird litter litter by larvae of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*)]. *Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy VIII Moskovskogo Mezhd. Kongressa* [Biotechnology: status and development prospects: materials of the VIII Moscow Int. Congress]. M.: CJSC “Expo-biochemical-technologies”, RKhTU im. DI. Mendeleeva, 2015, pp. 350-351.

4. Nekrasov R.V., Ushakova N.A., Chabaev M.G. Lichinki mukhi Chernyy soldat (*Hermetia illucens*) v pitanii zhyvotnykh [Larvae of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) in animal nutrition]. *Sovremennye dostizheniya i problemy biotekhnologii sel'skokhozyaystvennykh zhyvotnykh: Materialy 10-y Vseros. konf.-shkoly molodykh uchennykh Dubrovitsy* [Modern achievements and problems of biotechnology of farm animals: Proceedings of the 10th All-Russian. Conf. School of Young Scientists Dubrovitsa]. VIZh, 2015, pp. 237-143.
5. Pestsov 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.
6. Saponova Zh.A., Shoukhov V.G., Sverguzova S.V., Svyatchenko A.V., Shaikhiev I.G. Ispol'zovanie nasekomykh v sel'skom khozyaystve – put' k ratsional'nomu prirodopol'zovaniyu [The use of insects in agriculture is the way to rational nature management]. *Construction economic and environmental management*, 2020, vol. 77, no. 4, pp. 5-9.
7. Hoornweg D., Bhada-Tata P. What a waste: a global review of solid waste management. World Bank: Washington, 2012, vol. 15, 116 p.
8. Hume, D. A., Whitelaw, C. B. A., Archibald, A. L. The future of animal production: improving productivity and sustainability. *Agricultural Science*, 2011, vol. 149, no. S1, pp. 9–16. <https://doi.org/10.1017/s0021859610001188>
9. Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing / Carina D. Heussler, Andreas Walter, Hannes Oberkofler, Heribert Insam, Wolfgang Arthofer, Birgit C. Schlick-Steiner, Florian M. Steiner. *PLOS ONE*, 2018, vol. 11, no. 5, p. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197896>
10. Insights in the Global Genetics and Gut Microbiome of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*: Implications for Animal Feed Safety Control Fathiya / Khamis M., Ombura1 F.L.O., Akutse1 K. S., Subramanian S., Mohamed S.A., Fiaboe K. K.M., Weerachai S., Joop J. A. Van Loon, Dicke M., Dubois T., Ekesi S., Tanga C.M. *Frontiers in Microbiology*, 2020, vol. 11, p. 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01538>
11. Kou Zongqing, Jian Xu, Jun Xu, Longyu Zheng. Genomic landscape and genetic manipulation of the black soldier fly *Hermetia illucens*, a natural waste recycler. *Cell Research*, 2019, vol. 11, p. 12. <https://doi.org/10.1038/s41422-019-0252-6>
12. Long-Term Artificial Selection for Increased Larval Body Weight of *Hermetia illucens* in Industrial Settings / Facchini E., Shrestha K., Boer E.v.d., Junes

- P., Sader G., Peeters K., Schmitt E. *Frontiers in Genetics*, 2022, vol. 13, p. 9. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.865490>
13. Macavei L.I., Benassi G., Stoian V., Maistrello L. Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. *PLOS ONE*, 2020, 18 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232144>
 14. Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) / Bertrand H., Grégoire N., Joachim C., Frédéric F., Rudy C. M. *PLOS ONE*, 2019, pp. 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216160>
 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, vol. 1, no. 3, pp. 179-193. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0024>
 16. Paz A.S., Carrejo N.S., Gymez Rodríguez C.H. Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.). *Waste Biomass*, 2015, vol. 6, pp. 1059–1065. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>
 17. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) / Choi Y., Choi J., Kim J., Kim M., Kim W., Park K., Bae S., Jeong G. *International Journal of Industrial Entomology*, 2009, vol. 19, no. 1, pp. 171-174.
 18. 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, p.13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
 19. Threshold Temperatures and Thermal Requirements of Black Soldier Fly *Hermetia Illucens*: Implications for Mass Production / Chia S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe K. K. M., Niassy, S., van Loon, J. J. A., Dicke M., Ekesi S. *PLOS ONE*, 2018, vol. 13, no. 11, p. 26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
 20. Technical handbook of domestication and production of diptera black soldier fly (bsf) *hermetia illucens*, stratiomyidae / Caruso D., Devic E., I Subamia W., Talamond P., Baras E.: PT Penerbit IPB Press Kampus IPB Taman Kencana Bogor, 2013. 159 p.

ДАнные об авторах

Песцов Георгий Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий микробиологической лаборатории 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

Прокудина Ольга Владимировна, студент кафедры биологии и технологии живых систем, лаборант технопарка универсальных педагогических компетенций
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
prokudinaolga11@gmail.com

Третьякова Анастасия Валерьевна, аспирант кафедры биологии и технологии живых систем, младший научный сотрудник микробиологической лаборатории 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

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

Olga V. Prokudina, 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
prokudinaolg11@gmail.com*

Anastasia V. Tretyakova, Postgraduate at the Department of Biology and Technology of Living Systems, Junior Researcher 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
glazynovaanastasiya@gmail.com*

Sergey A. Butenko, Director

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

Поступила 19.10.2022

После рецензирования 06.11.2022

Принята 18.11.2022

Received 19.10.2022

Revised 06.11.2022

Accepted 18.11.2022