научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

Издатель
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

https://ecopri.ru

№ 3 (24). Сентябрь, 2017

Главный редактор
А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugołek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции
185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.
E-mail: ecopri@petrsu.ru
https://ecopri.ru

12+

© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

научный электронный журнал ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

https://ecopri.ru **https://petrsu.ru**

УДК 591.61+ 602.3

АДАПТАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВЕДЕНИЯ МУХИ ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА (HERMETIA ILLUCENS) В ЦИРКУМПОЛЯРНОМ РЕГИОНЕ

АНТОНОВ Александр Михайлович	*кандидат сельскохозяйственных наук, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17), anaximandr2@yandex.ru*
LUTOVINOVAS Erikas	*PhD of biological sciences, Nature Research Centre (Akademijos 2, LT-084 12 Vilnius 21, Lithuania), wohlfahrtia@gmail.com*
ИВАНОВ Геннадий Анатольевич	*ООО «НордТехСад» (164900, Архангельская область, г. Новодвинск, ул. Мельникова, 7), arhsad@yandex.ru*
ПАСТУХОВА Надежда Олеговна	*Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17), hope203@yandex.ru*

Ключевые слова:
Биотехнология, муха Черная львинка (Hermetia illucens), адаптация, биоконверсия, состав личинок, кормовая добавка, процесс разведения, циркумполярный регион

Получена:
06 февраля 2017 года
Подписана к печати:
07 ноября 2017 года

Аннотация. Биотехнологии в последнее время приобретают большие масштабы, как перспективные направления науки, изучающие возможности использования живых организмов, систем или продуктов их жизнедеятельности для решения технологических задач. В качестве объекта исследования выступает американский вид мухи – Черная львинка (Hermetia illucens). Вид обитает в странах с теплым климатом, однако в последнее время активно обсуждается вопрос разведения мухи в регионах с холодными климатическими условиями. В отличие от Америки и стран Западной Европы в России данный вопрос мало изучен. Анализ литературных источников позволит определить оптимальные условия для роста, развития и размножения вида в искусственно созданных лабораторных условиях. Широкую популярность насекомое получило за счет высокоэффективной биоконверсии различных твердых органических отходов, а также высокой питательности личинок с возможностью использования в кормлении сельскохозяйственных животных и аквакультуры. Однако это далеко не весь спектр сфер использования мухи. Личинка мухи отличается способностью к поглощению практически любых биоотходов. В результате в организме накапливается комплекс веществ, процентное содержание которых зависит от диеты питания. В личинке содержится ≈40 % аминокислот, которые оказывают благоприятное воздействие на рост и развитие сельскохозяйственных животных и птиц и подтверждают возможность использования сухих личинок в виде кормовой добавки. Черная львинка – муха, вызывающая большой научный и практический интерес. Искусственное создание необходимых условий для жизни вида при изучении и адаптации насекомого в условиях с холодным климатом, а также разработка технологий по развитию и размножению насекомого в лабораторных и промышленных условиях обеспечат разведение мухи в циркумполярном регионе и позволят развить ряд направлений биотехнологии в Архангельской области.

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Муха Черная львинка (*Hermetia illucens, или* Черный солдатик – Black Soldier Fly) – это крупная американская муха из семейства львинок (Stratiomyidae), естественный ареал распространения которой считается Северная и Южная Америка (Rozkošný, 1983). 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 (Ушакова, Некрасов, 2015). В наши дни биотехнология, как перспективное направление науки, связанное с разведением живых организмов в производственных целях, имеет огромное экологическое и биологическое значение. Объектами исследования могут служить многочисленные представители групп живых организмов – микроорганизмы (вирусы, бактерии, протисты, дрожжи и др.), растения, животные, а также насекомые, к числу которых относится изучаемый представитель – муха Черная львинка.

Цель – провести анализ существующих исследований и рассмотреть опыт по адаптации и перспективы разведения мухи Черная львинка в приарктическом регионе на территории Архангельской области.

Аналитический обзор

Насекомые составляют ≈80 % глобального разнообразия видов, а также это самый обильный по численности и по биомассе класс сухопутных животных, которых отличает высокая плодовитость и способность к массовому размножению. В последнее десятилетие во всем мире наблюдается повышенный интерес к насекомым как источнику высокоусвояемого кормового белка, жира с уникальными свойствами, антиоксидантов, иммуномодуляторов, сырья для получения новых лекарственных средств (Kroeckel et al., 2012; Stamer et al., 2014; Józefiak et al., 2016). Немаловажным фактором является возможность некоторых видов содержаться в культуре в искусственных условиях. Это позволяет использовать их в качестве новых промышленных продуцентов, получать физиолого-биохимические и генетические характеристики конкретной культуры, контролировать процессы биоконверсии субстратов, на которых развиваются насекомые, а также оценивать качественные и количественные показатели продуктов переработки биомассы насекомых для последующего применения в кормах, ветеринарии, фармакологии. Кормовой белок, полученный путем переработки насекомых, представляет собой муку (шрот) из взрослых особей или их личинок. Его можно использовать в качестве компонента корма в рационе свиней, крупного рогатого скота, домашней птицы и рыбы (Tran, Gnaedinger, Mélin, 2015).

Разработка основ технологии разведения личинок мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*), обеспечивающей получение высокоэффективного белково-липидного компонента кормовых рационов, – актуальная тема, значение которой существенно повысилось в настоящее время в связи с необходимостью импортозамещения компонентов кормов для сельскохозяйственных животных и рыб. Муха получила большую популярность в последнее десятилетие за счет внедрения в качестве кормового объекта для рептилий, птиц и других животных (Kroeckel et al., 2012; Stamer et al., 2014; Józefiak et al., 2016). Прежде всего это связано с высокой питательностью личинок, выращенных на органических отходах, которые содержат протеины (≈40 %) и жиры (≈40 %). В составе жирных кислот 50 % приходится на лауриновую кислоту, а также кальций, фосфор и железо (Ушакова, Некрасов, 2015). Личинки содержат полезные органические соединения, которые имеют коммерческую и промышленную ценность. К числу таких элементов относится: 42.1 % – сырой протеин; 34.8 % – липиды; 7.0 % – сырая клетчатка; 7.9 % – влага; 1.4 % – свободный экстракт азота; 14.6 % – зола; 5.0 % – кальций; 1.5 % – фосфор (Alvarez, 2012). Биомасса личинок используется для получения белкового продукта для кормопроизводства. Личинки применяются в системах аквакультуры, поскольку отрасль сталкивается с потенциальным дефицитом кормового белка. В связи с высоким содержанием данных элементов личинки мухи могут использоваться в качестве корма для форели. Они обладают низким содержанием Омега-3 и Омега-6 жирных кислот, но, в зависимости от типа питания, содержание данных компонентов в личинках увеличивается (St-Hilliare, 2007).

Схожая ситуация в области животноводства. Географическая изоляция производства рыбы и упадок мировых рыбных запасов могут способствовать дефициту рыбной муки, которая является основным источником белка в питании животных. Добавление личинок мухи Черная львинка в корм крупному рогатому скоту и птице обеспечит альтернативный источник белка в животноводческой промышленности, создаст профиль питания животных и удовлетворит особые пищевые потребности (Papadoyianis, 2007).

Процесс уничтожения твердых отходов претерпел значительные изменения со времен возникновения практики открытого сжигания. Современные методы уничтожения включают в себя уменьшение их количества, повторное использование, переработку и компостирование. Использование мух Черная львинка для уничтожения отходов не новый процесс (Alvarez, 2012). Этот вид используют для стабилизации проблемных отходов, включая навоз свиней и птицы. Личинки способны переваривать органические порции твердых биологических составляющих, осадки сточных вод и отходы от обработки рыбы и мяса, фрукты, овощи, отходы из ресторанов и кухонные

отходы (Sheppard et al., 2002). Максимальная скорость биоконверсии не менее 0.9 кг/день/м^2, удельная производительность не менее 25 мг субстрата/личинка/сутки при плотности посадки 5 особей на см^2 (Бастраков, Загорский, 2014).

Способ уничтожения отходов с применением личинок мухи не похож на любой другой метод утилизации. С его использованием органические остатки не подвергаются обязательному механическому измельчению. Личинки черной львинки сами измельчают их на практически одинаковые, маленькие частицы в процессе поедания и переваривания. После того, как личинки извлекут из массы органических отходов все питательные вещества, объем отходов уменьшится на 70–80 %. Да и сами отходы после уничтожения отходами уже не являются – они представляют собой высокоценное и экологически чистое, полное удобрение для растений (зоогумус) (Серебрянский, 2015).

Оба процесса (биоконверсия отходов и использование личинок в качестве корма) обусловлены наличием двойной пользы и полностью дополняют друг друга – личинки утилизируют навоз и органические отходы и сами становятся хорошим кормом для животных. Однако, по мнению западных исследователей, биомассу личинок следует обрабатывать высушиванием и проверять на наличие или отсутствие кишечных патогенов (Lalander et al., 2013), а накапливание тяжелых металлов (кадмий) потенциально ограничивает использование личинок в производстве корма для животных при кормлении их некоторыми отходами (Diener, Zurbrügg, Tockner, 2015). Повышение температуры при биоконверсии (до 45 ^{0}C) и сушка (t = 105–120 ^{o}C) обеспечивают снижение количества бактерий (Циммер, 2013). Согласно исследованиям, при развитии личинок значительное число патогенов (*Escherichia coli* O157:H7 (STEC O157) и *Salmonella enterica* в курином помете) подавляется (Erickson et al., 2004), что объясняет наличие антимикробных протеинов у насекомых (Hattori, 1995).

Черная львинка (*Hermetia illucens*) в основном распространена в субтропическом климате. По внешнему виду и по поведению схожа с осой, однако в отличие от осы у нее только одна пара крыльев, нет жала и темный одноцветный окрас тела. В течение своего жизненного цикла муха проходит пять стадий: яйцо, личинка, предкуколка, куколка и взрослая особь (Paola, Anabel, Santo, 2013).

Личинки *Hermetia illucens* (в длину могут достигать до 27 мм) тусклые, белого цвета с золотисто-желтыми волосками (Diclaro, 2010). Они имеют небольшую выступающую желтовато-коричневую голову с ротовым аппаратом. На боковой стороне головы расположены светло-желтые глазные протуберанцы, в то время как усики расположены очень низко и антеролатерально (Rozkošný, 1983).

Головная капсула, в отличие от тела, узкая и маленькая и может быть втянута в грудной отдел. Грудь состоит из трех сегментов (рис. 1). Спинные сегменты густоволосистые с несколькими рядами мелких волосков, которые хорошо развиты в передних сегментах II и III. Брюшной отдел состоит из 8 сегментов, образованных пластинками грубо прямоугольной формы, которые покрыты многочисленными мелкими щетинками. Сегменты с 1 до 7 характеризуются наличием дыхальца с обеих сторон. Восьмой брюшной сегмент – последний, округлой формы (Fernanda, Klaus, Richard, 2015).

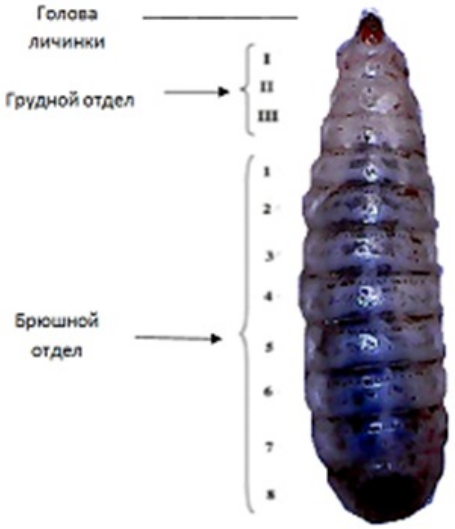


Рис. 1. Анатомическое строение личинки мухи Чёрная львинка (Fernanda, Klaus, Richard, 2015)
Fig. 1. The anatomical structure of the larva Black flies lvink (Fernanda, Klaus, Richard, 2015)

Подробное описание стадий развития мухи приведены в табл. 1. Согласно исследованиям (Fernanda, Klaus, Richard, 2015), первая стадия личинки длится около 15 дней. По цвету личинки бело-желтые, могут достигать размера до 5.0 мм ± 0.5 мм. Во второй стадии продолжительностью 1 дней они увеличиваются в размерах до 12 мм. Третья возрастная стадия (предкуколки) продолжительностью 8 дней достигает размера 19 мм. За данный период личинки изменяют свой цвет до темно-коричневого и по структуре становятся более жесткими. Процесс окукливания длится около 10 дней, после завершения которого взрослая муха выходит из куколки с единственной целью спаривания и откладки яиц.

Таблица 1. Стадии развития мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*)

Стадия	Размер (мм)	Цвет	Изображение
Яйцо	0.8–1	Белый/желтый	
Личинка	5–12	Белый/желтый/светло-коричневый	
Предкуколка	19	Темно-коричневый	

Куколка	19	Темно-коричневый	
Взрослая муха	15–20	Черный, частично с белыми голенями и ступнями	

Взрослые особи *Hermetia illucens*, в длину от 15 до 20 мм, имеют слабовыраженный, лижущий ротовой аппарат, предназначенный только для питья, следовательно, насекомое не кусается и не жалит. По цвету мухи черные с дымчато-черными крыльями, очень плотными по структуре и все покрыты мембранами (рис. 2) (Paola et al., 2013). Голова взрослых мух короткая и широкая, глаза широко разведены, независимо от пола насекомого. Усики в два раза длиннее головы (соотношение представлено на рис. 3), представляют собой удлиненные жгутики и имеют длинный концевой сегмент (Sheppard et al., 2002).

Рис. 2. Крыло *Hermetia illucens* (Paola et al., 2013)
Fig. 2. Wing of Hermetia illucens (Paola et al., 2013)

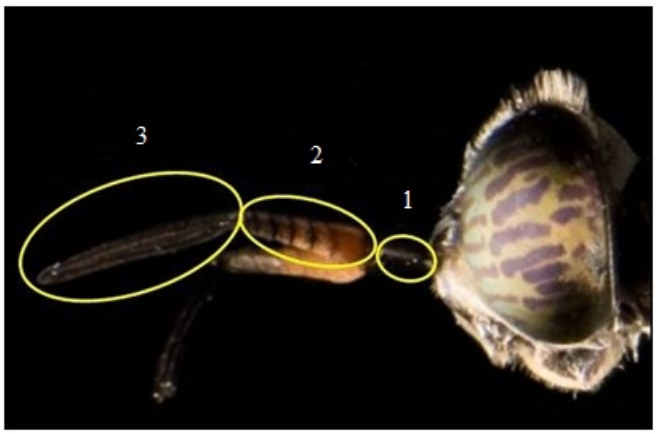
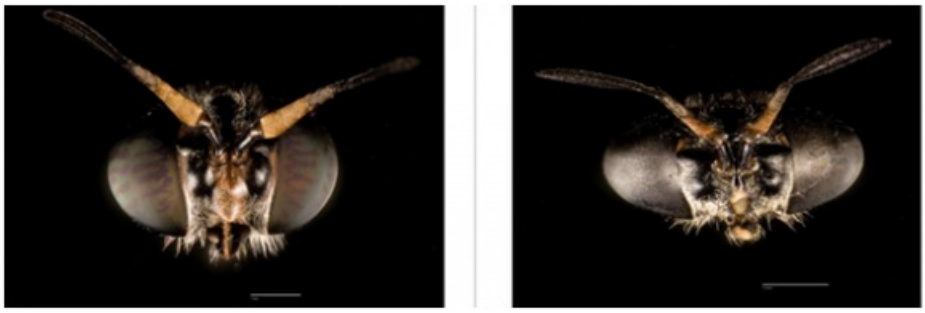


Рис. 3. Строение усиков *Hermetia illucens* (Jonathan Tan). Круги представляют собой пронумерованные части усиков (1 – скейп, 2 – базальная часть флагеллума, 3 – апикальная часть флагеллума)
Fig. 3. The structure of the antennae of Hermetia illucens (Jonathan Tan). Circles are the numbered parts of the antennae (1 – skeyp, 2 – basal part of the flagellum, 3 – apical part of the flagellum)

Для *Hermetia illucens* характерно наличие черт полового диморфизма: размер тела и наличие волосков на лбу и голове (Rozkošný, 1983). Явных половых отличий у вида не наблюдается, хотя самки, как правило, по размеру больше самцов. Однако

необходимо отметить, что размер мух зависит от количества пищи, употребленной личинкой, таким образом, самцы и самки могут быть схожи по биометрическим показателям. Они отличаются большим числом белесых волосков на голове, в основном сосредоточенных в нижней части «лица» (рис. 4a–b). Самцы отличаются более разреженными волосками и их меньшим количеством.



а) Самка мухи Чёрная львинка б) Самец мухи Чёрная львинка

Рис. 4a–b – особенности полового диморфизма взрослых мух *Hermetia illucens* на голове (Jonathan Tan)

a) Female fly Black lvink b) Male fly Black lvink

Fig. 4a–b – Features of sexual dimorphism of adult flies Hermetia illucens on the head (Jonathan Tan)

Естественное распространение вида *Hermetia illucens* характерно для субтропических широт (от 40° с. ш. до 40° ю. ш.) (McCallan, 1974), но в Западной Европе, где климат более мягкий, муха распространяется до $49^{0}55$ с. ш. (Roháček, Hora, 2013). Это страны с преобладающим теплым климатом, где вид разводят в вольерах, расположенных на открытом воздухе. Однако в последнее время активно обсуждаются перспективы разведения мухи и как следствие ее использование в регионах с холодным климатом. Это возможно при создании оптимальных искусственных условий, где вид может нормально функционировать, развиваться и размножаться.

При разведении мухи Черная львинка основные факторы, влияющие на рост, развитие и получение кормовой биомассы, – освещение, влажность, температурный режим, кормовой субстрат, химические факторы, к которым относятся газовый состав воздуха, минеральный состав воды, кислотность, механический и химический состав среды, в которой развивается насекомое, ее воздухопроницаемость и плотность, а также шум, гамма-излучение и электромагнитные колебания (Чернышев, 1996). Несмотря на весь спектр необходимых факторов среды распространения, насекомое отличается неприхотливостью, а ее личинки – всеядностью и способностью развиваться в широких диапазонах температур (20–50 °C) и влажности (40–90 %). Основные параметры, необходимые для разведения насекомого, – для имаго влажность воздуха до 70 %, температура воздуха – около 30 °C, наличие питьевой воды и освещения. Согласно исследованиям, минимальная освещенность, необходимая для спаривания взрослых особей мухи, составляет 70 мкмоль/м^2/с, максимальная – 100 мкмоль/м^2/с (Alvarez, 2012). Для кладки яиц оптимальное значение температуры должно поддерживаться на уровне 27 °C с относительной влажностью окружающей среды 60 %. При таких условиях наблюдается выводимость яиц 80 % и более (Holmes, 2010; Sheppard et al., 2002).

При соблюдении всех необходимых условий окружающей или искусственно созданной среды муха может разводиться в любых географических зонах Земли. Первые исследования по разведению личинок вида в условиях холодного климата проводили в теплице здания биологии при Университете Виндзора, Канада, США. Клетки, где проводили исследования, разместили в теплице, с температурой и относительной влажностью воздуха в пределах 27 °C и 33 °C (оптимальная) и 25 % до 50 % (не является оптимальной, но допустима). Для организации исследования объект

был разделен на операционные зоны (рис. 5).

Реакторное пространство представляет собой территорию, на которой недавно вылупившаяся личинка может развиваться с момента вылупления до своей мигрирующей стадии. Пространство имеет форму прямоугольной призмы, изготовленной из ¾ дюйма фанеры, объем территории 1.0 м^3 (1.82 м Д. х 1.82 м Ш. х 0.305 м В.). Реакторное пространство соединено наклонной поверхностью (пандус/рампа) с инкубатором (место для взрослых особей мух). Пандус построен также из фанеры под углом 40 градусов, и покрыт мембраной BlueSkin для обеспечения водонепроницаемости. Он обеспечивает выход мигрирующим личинкам к собирающемуся желобу (к камере для окукливания) (Alvarez, 2012).

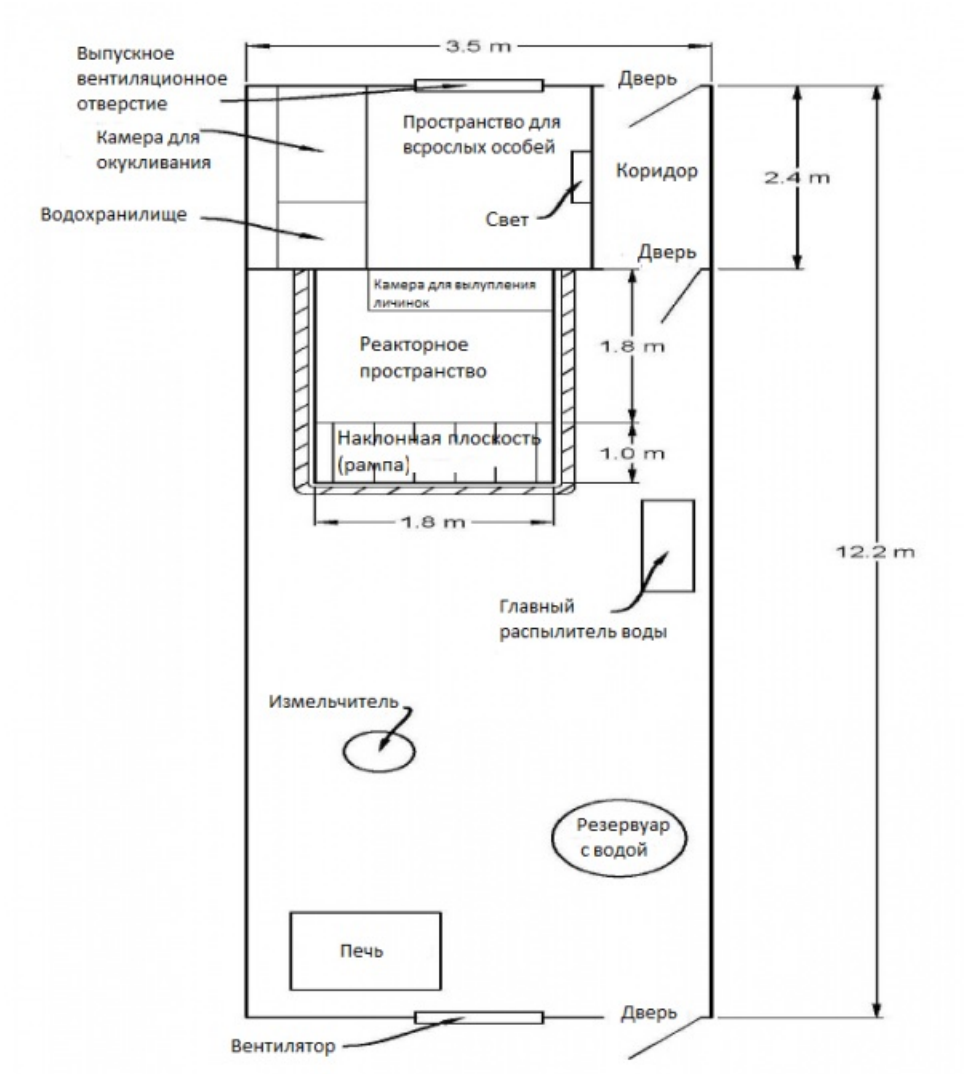


Рис. 5. Схема объекта по производству мухи Черная львинка (при Университете Виндзора, Канада, США)
Fig. 5. Scheme of the construction for the production of flies Black lvink (at the University of Windsor, Canada, USA)

Собирающийся желоб прямоугольной формы (1.82 м Ш. х 0.914 м Д. х 0.457 м В.), изготовлен из фанеры и заполнен щепой (глубина – 0.15 м). В этом месте личинок вместе со щепой собирали, щепу просеивали, самих личинок взвешивали и перемещали в пространство для взрослых насекомых. Пространство для взрослых особей объемом около 14.5 м^3 (2.5 м Ш. х 2.35 м Д. х 2.46 м В.) состоит из четырех стенок, покрытых 0.15 мм пластика с обеих сторон. Для предотвращения кладки яиц в нежелательных местах камеры и сокращения количества бесконтрольной миграции

личинок все швы и стыки камеры были покрыты акрилом (Alvarez, 2012).

С инженерной точки зрения с поведением мух на взрослой стадии жизни сложнее справиться, чем с мухами на стадии личинки. Взрослые особи отличаются повышенной потребностью в питьевой воде, объемным пространством для поиска самки, воздействием света и наличием подходящего места для кладки яиц. Для удовлетворения потребности в воде установлена система распыления, которая распыляет воду по территории пространства и обеспечивает определенный уровень влажности окружающей среды. Для обеспечения потребности в свете, стены и потолок камеры сделаны из полупрозрачного пластика, а для обеспечения оптимального пространства для поиска самки при спаривании (воздушный поиск) большинство территории камеры было пустым.

Инкубатор для разведения взрослых особей мухи построен из дерева в виде треугольной призмы (0.305 м Д. х 1.6 м Ш. х 0.267 м В.). Одна, самая длинная, сторона строения покрыта листом фанеры, а остальные поверхности – просматриваемыми окнами для обеспечения оптимального светового режима (Alvarez, 2012).

В качестве мест для кладки яиц использовали новые пластиковые яичные картриджи. Картриджи сделаны из сравнительно твердого пластикового картона, который разрезали на части размером 0.305 м х 0.003 м х 0.0254 м. Каждый картридж имел два отверстия (5 мм х 3 мм), через которые были вставлены два стальных резьбовых стержня, соединяющие картриджи вместе. После сборки блоков для укладки яиц их устанавливали в инкубатор (Alvarez, 2012).

В отличие от Америки и стран Западной Европы (Голландия, Германия, Италия и др.), где изучением адаптации и разведением мухи Черная львинка в холодном климате занимаются уже несколько десятков лет, в России и странах Восточной Европы данный вопрос мало изучен.

В северных широтах России исследования по разведению и изучению адаптации чёрной львинки проводятся на территории Архангельской области с 2015 г. на базе малого инновационного предприятия ООО «НордТехСад». Исследования направлены на производство биомассы личинок и предкуколок мухи для введения в корма сельскохозяйственным животным и рыбам в качестве белково-энергетического компонента корма, и в том числе для замены рыбной муки. Технологический процесс производства выглядит следующим образом: температура в помещении, где проводятся работы по разведению мух, в течение всего года поддерживается на уровне 26–29 °С. Для содержания имаго используются клетки объемом 0.5 м^3. В каждой клетке находится 3000–3500 особей мух. Длина светового дня составляет 12 часов благодаря светильникам с лампами. В клетке располагается кормушка для имаго, которая представляла собой вискозную губку, пропитанную водой. Питание для мух этого вида не является строго необходимым, однако при его наличии продолжительность жизни насекомого существенно увеличивает.

Для откладки яиц черной львинки использовали соты и картон, установленные на дно клетки, которые располагаются над емкостью с едой. Когда цикл запущен, на дно клетки размещается емкость с куколками мух. Вылупившиеся самцы и самки мухи спариваются в полете, начиная с третьего дня жизни. Первые кладки яиц появляются на третий день с момента выхода первых особей. Самки откладывают яйца в отверстия сот и картона, содержащие от 250 до 1200 штук яиц в ячейке. Продолжительность жизни имаго составляет от 10 до 28 суток.

Яйца вида инкубируются в чашках Петри в сухом картоне при температуре 26 °С и влажности воздуха 80 %. Продолжительность развития яиц мухи черной львинки при указанной температуре составляет трое суток. Яйца третьего дня инкубации помещали в пластиковые контейнеры с питательным субстратом и накрывали мелкоячеистой сеткой. На пятый день субстрат с личинками помещали в контейнеры, где личинки перерабатывали практически любые органические отходы – овощи, мясо, фрукты, остатки пищи из мест общественного питания, причем как свежие, так и испорченные.

Развитие личинок до стадии предкуколки продолжается 2–3 недели в

зависимости от режима питания и температуры. Личинки, завершившие питание, линяют и приобретают темную, почти черную окраску. На этой стадии развития они ищут подходящее место для окукливания. Если субстрат недостаточно влажный, окукливание может произойти в толще субстрата. Если же в субстрат добавить воды, предкуколки вылезают на поверхность в поисках более сухого места для окукливания. Эта биологическая особенность вида может быть использована для отделения их от субстрата.

В процессе выращивания личинок и, как следствие, предкуколок важно следить за хорошей аэрацией, температурой в контейнерах и влажностью субстрата. Предкуколки могут сохранять жизнеспособность до нескольких месяцев при температуре 10–15 °C, а при температуре 26 °C окукливание проходит в течение 6–12 суток. Если плотность личинок возрастает (15–50 шт./см^2), температура субстрата также повышается (до 43 °C). Однако это не приводит к гибели личинок, а, напротив, подавляет значительное число патогенов в субстрате.

Всеядность и питательность обуславливается способностью личинок чёрной львинки поедать без исключения любые твердые органические отходы и в результате накапливать в своем организме комплекс макро- и микроэлементов, процентное содержание которых зависит от диеты питания. В табл. 2 представлен состав и процентное содержание веществ личинок мухи Черная львинка выращенных на помете свиней. Исследования проведены в лабораторных условиях на базе Университета Виндзора, Канада, США.

Таблица 2. Состав личинок *Hermetia illucens*, выращенных на помете свиней (Newton et al., 1977)

Изучаемые показатели	**Процентное содержание веществ, %**
Белки	42.1
Жиры	34.8
Волокно (хитин)	7.0
Влажность	7.9
БЭВ (безазотистые экстрактивные вещества)	1.4
Зола	14.6
Кальций	5.0
Фосфор	1.5

При проведении исследований установлено, что на содержание протеина в личинке не оказывает влияние состав кормового субстрата, в то время как количество жира и золы колеблется в зависимости от типа корма – для жира 20–45 %, для золы 3–20 % (Spranghers et al., 2015). Основной компонент липидов этого насекомого – лауриновая кислота и ее эфиры. Среди идентифицированных глицеридов лауриновой кислоты доминирует моноглицерид, который обладает значительной биологической активностью. Считается, что в организме животных и человека лауриновая кислота, которая содержится в грудном молоке, преобразуется в монолаурин, который является противовирусным, антибактериальным и антипротозойным глицеридом (Elwert et al., 2010; Гончаров, Хамидуллин, 2012). Кислота угнетает и подавляет многие вирусы, включая вирус ВИЧ, вирус кори, клостридий и многих патогенных простейших микроорганизмов.

Аминокислотный состав белка в личинке демонстрирует присутствие широкого спектра аминокислот и относительно высокое содержание лизина. В табл. 3 приведены результаты исследования аминокислотного состава, содержащегося в сухой муке личинок мухи.

Таблица 3. Аминокислотный состав сухой муки личинок *Hermetia illucens*, выращенных на помете свиней (Newton et al., 1977).

Аминокислоты	Процентное содержание, %
Аспарагиновая кислота	4.56
Треонин	0.55
Серин	0.12
Глутаминовая кислота	3.81
Пролин	3.26
Глицин	2.88
Аланин	3.69
Цистин	0.06
Валин	3.41
Метионин	0.86
Изолейцин	1.96
Лейцин	3.53
Тирозин	2.51
Фенилаланин	2.2
Гистидин	1.91
Лизин	3.37
Аргинин	2.24
Триптофан	0.2
Сумма аминокислот	40.12

Незаменимыми аминокислотами богаты корма животного происхождения, поэтому они считаются более полноценными. Из приведенных в табл. 3 данных обращает на себя внимание, что в относительно большом количестве присутствуют незаменимые L-аминокислоты с разветвленной цепью (лейцин, валин и изолейцин), составляя в сумме более 20 % от всех аминокислот. Лейцин и изолейцин необходимы для синтеза белков плазмы крови, тканей, нормального использования аминокислот корма и стимулируют выделение гормона роста. Изолейцин необходим для синтеза гемоглобина, а также регулирует уровень сахара в крови и процессы энергообеспечения. Валин оказывает стимулирующее действие и необходим для метаболизма в мышцах, восстановления поврежденной ткани. Он участвует в синтезе белков и гликогенов. Недостаток валина приводит к потере аппетита, снижению прироста живой массы у молодняка, вызывает глубокие дегенеративные изменения центральной нервной системы, выражающиеся в нарушении координации движений, повышенной возбудимости к внешним раздражителям (Горчакова и др., 2010; Baker et al., 2002).

Проведенные исследования указывают на биологическую активность аминокислот белков мухи Черная львинка и подтверждают необходимость использования личинок в качестве кормовой добавки крупному рогатому скоту и птице. При кормлении животных и птиц кормами с добавлением муки из высушенных личинок иммунная система становится более устойчивой к внешним раздражителям, стимулируется выделение гормона роста, что приводит к приросту организма по массе, а также указанные аминокислоты обеспечивают поддержание нормального обмена азота в организме животных, что приводит к нормализации обмена веществ и повышению иммунитета.

Заключение

Муха Черная львинка – насекомое, вызывающее большой научный и практический интерес. Личинки мухи полезны не только как корм для домашних животных, но и как корм для рыбных ферм и сельскохозяйственных представителей. Личинки способны эффективно перерабатывать органические отходы, в том числе экскременты свиней и птиц, накапливая в своем организме комплекс веществ, процентное содержание которых зависит от диеты питания.

Насекомое не требовательно к внешним факторам, и при минимальных вложениях и небольших усилиях можно добиться значительных успехов в разведении данного вида в районах Крайнего Севера. В Архангельской области в лабораторных условиях уже проводятся работы по созданию опытных партий личинок, усовершенствованию технологий разведения мухи в условиях циркумполярного региона на базе малого инновационного предприятия ООО «НордТехСад» и проведению испытаний на животных при добавлении личинок в качестве кормовой добавки. Заявленные направления исследований обеспечат развитие сельскохозяйственной и пищевой промышленности региона. За счет способности к биоконверсии личинки определят экологическую направленность по улучшению состояния окружающей среды региона и позволят развить ряд направлений в биотехнологии на севере России. Согласно вышеизложенному черная львинка является перспективным объектом исследований, поскольку широко зарекомендовала себя в качестве кормовой добавки сельскохозяйственным животным и аквакультуре, а также вид связан с актуальным направлением экологически безопасной биоутилизации органических отходов, что важно для условий палеарктики и циркумполярного региона.

Библиография

Бастраков А. И., Загоринский А. А., Козлова А. А., Ушакова Н. А. Высокоэффективная биоконверсия органических субстратов личинками Черной львинки (*Hermetia illucens*) // Биотехнология и качество жизни: Международная научно-практическая конференция. Москва, 18–20 марта 2014 г. М., 2014. С. 418–419.

Гончаров А. Т., Хамидуллин Т. Н. Использование монолаурина в кормлении цыплят-бройлеров // Отраслевой научно-производственный журнал «Птица и птицепродукты». 2012. № 3. С. 30–33.

Горчакова Н. А., Гудивок Я. С., Гунина Л. М. и др. Фармакология спорта / Под общ. ред. С. А. Олейника, Л. М. Гуниной, Р. Д. Сейфуллы. Киев, 2010. С. 631–639.

Серебрянский Д. Н. Достоинства и проблемы бизнеса по разведению личинок мух Чёрная львинка (*Hermetia illucens*) . URL: http://www.nasadki.net/index/dostoinstva_i_problemy_biznesa_po_razvedeniju_lichinok_mukh_chernaja_lvinka_hermetiaillucens/0-594.

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.

Циммер К. Микрокосм: *E. coli* и новая наука о жизни : Пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2013. С. 394.

Чернышев В. Б. Экология насекомых . М.: Изд-во МГУ, 1996. С. 304.

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.

Baker D. H., Batal A. B., Parr T. M., Augspurger N. R., Parsons C. M. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks posthatch // Poultry Science. Vol. 81. № 4. 2002. P. 485–494.

Diclaro II J. W., Kaufman P. E. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta:

Diptera: Stratiomyidae). EENY-461, Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2010. P. 1–3.

Diener S., Zurbrügg C., Tockner K. Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle // Journal of Insects as Food and Feed. 2015. Vol. 1(4). P. 261–270.

Elwert C., Knips J., Katz P. A novel protein source: maggot meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) in broiler feed // Gierus M., Kluth H., Bulang M. and Kluge H. (Eds.) 11. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, November 23–25, 2010, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Universität Halle- Wittenberg, Lutherstadt Wittenberg, Germany, 2010. P. 140–142.

Erickson M. C., Islam M., Sheppard C., Liao J., Doyle M. P. Reduction of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella enterica serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly // J. Food Prot. 2004. Vol. 67(4). P. 685–690.

Fernanda O., Klaus D., Richard L., Joseph R. O. Assessment of diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (l., 1758) using electron microscopy // Journal of entomology and zoology studies. 2015. Vol. 3(5). P. 147–152.

Hattori S. State of research on radiation hormesis by CRIEPI // Am. Nucl. Soc. Trans. 1995. Vol. 73. P. 40–42. See also BELLE Newsletter 3, 1995. P. 1–7.

Holmes L. Role of Abiotic Factors on the Development and Life History of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) // Masters thesis University of Windsor. ON, Canada, 2010. P. 168.

Józefiak D., Józefiak A., Kierończyk B., Rawski M., Świątkiewicz S., Długosz J., Engberg R.M. Insects – a natural nutrient source for poultry – a review // Annals of Animal Science. 2016. P. 36.

Kroeckel S., Harjes A.-G. E., Roth I., Katz H., Wuertz S., Susenbeth A., Schulz C. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute – Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*) // Aquaculture. 2012. P. 345–352.

Lalander C., Diener S., Magri M. E., Zurbrügg C., Lindström A., Vinnerås B. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (Hermetia illucens) — from a hygiene aspect, 2013. Sci Total Environ 458–460. P. 312–318. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.033.

McCallan E. *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), a cosmopolitan American species long established in Australia and New Zealand // Entomol. Mo. Mag. 1974. Vol. 109. P. 232–234.

Newton G. L., Booram C. V., Baker R. W., Hale O. M. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine // Journal of Animal Science. 1977. Vol. 44 (3). P. 395–400.

Paola G., Anabel M.-S., Santos R. The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) // Eur. J. Entomol. 2013. Vol. 110(3). P. 461–468. URL: http://www.eje.cz/pdfs/110/3/461/

Papadoyianis E. D. Insects offer a promising solution to the protein bottleneck // Feed Technology Update. 2007. Vol. 2 (6). P. 158.

Roháček J., Hora M. A northernmost European record of the alien black soldier fly *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae) // Čas. Slez. Muz. Opava (A). 2013. P. 101–106.

Rozkošný R. A Biosystematic Study of the European Stratiomyidae (Diptera): Clitellariinae, Hermediinae, Pachygasterinae and Bibliography (Vol. 2). London: Springer Science & Business Media, 1983. P. 431.

Sheppard D. C., Tomberlin J. K., Joyce J. A., Kiser B. C., Sumner S. M. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in a colony // Journal of Medical Entomology. 2002. Vol. 39(4). P. 695−698.

Spranghers T., De Clercq P., De Smet S., Sas B., Eeckhout M. Insects in animal feed: Acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stake-holders and citizens // Anim. Feed Sci. Tech. 2015. Vol. 204. P. 72–87.

Stamer A., Wesselss S., Neidigk R., Hoerstgen-Schwark G. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae-meal as an example for a new feed ingredients' class in aquaculture diets // Rahmann G., Aksoy U. (Eds.). Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference. *'Building Organic Bridges',* at the Organic World Congress 2014, 13–15 Oct. Istanbul, Turkey, 2014. P. 1043–1046.

St-Hilliare S. et al. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids // J. World Aquac. Soc. 2007. Vol. 38(2). P. 309–313.

Tran G., Gnaedinger C., Melin C. Black soldier fly larvae *(Hermetia illucens)*. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO // Last updated on October. 2015. Vol. 20. URL: http://www.feedipedia.org/node/16388.

ADAPTATION AND PROSPECTS OF BREEDING FLIES BLACK LVINK (HERMETIA ILLUCENS) IN CIRCUMPOLAR REGION

ANTONOV Alexandre	*PhD, M.V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University (163002, Russia, Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 17.), anaximandr2@yandex.ru*
LUTOVINOVAS Erikas	*PhD, Nature Research Centre (Akademijos 2, LT-084 12 Vilnius 21, Lithuania), wohlfahrtia@gmail.com*
IVANOV Gennady Anatol	*LLC "NordTehSad" (164900, Arkhangelsk region, Novodvinsk, Melnikov st., 7), arhsad@yandex.ru*
PASTUKHOVA Nadezhda	*M.V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University (163002, Russia, Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 17.), hope203@yandex.ru*

Keywords: Biotechnology, fly Black lvink (Hermetia illucens), adaptation, bioconversion, composition of larvae, fodder additive, breeding process, circumpolar region

Received on: 06 February 2017
Published on: 07 November 2017

Summary: Biotechnology has recently become pervasive, as a prospective branch of science that study the possibilities of using living organisms, systems or products of their vital activity to solve technological problems. American type of fly - the Black lvink (Hermetia illucens) is used as a research object. The species lives in countries with warm climate, but recently the issue of flies breeding in the regions with cold climatic conditions has been actively discussed. Unlike America and countries of Western Europe, in Russia this issue is underexplored. The analysis of literature sources will allow determining the optimal conditions for the growth, development and reproduction of the species in artificially created laboratory conditions. The insect has gained widespread appreciation due to its highly effective bioconversion of various solid organic wastes as well as high nutrition of larvae with the possibility of using them in feeding farm animals and aquaculture. However, this is not the full range of research areas of fly use. The larva of the fly is characterized by the ability to absorb virtually any biowastes. As a result, its body accumulates a complex of substances, the percentage of which depends on the diet. The larva contains about 40% amino acids which produce a favorable effect on the growth and development of farm animals and birds, and confirm the possibility of using dry larvae as a fodder additive. Black lvink causes great scientific and practical interest. Artificial creation of the necessary conditions for the life of the species when studying and adaptation of an insect in cold climate as well as the development of technologies for the development and reproduction of insects in laboratory and industrial conditions will provide fly breeding in circumpolar regions and allow developing a number of biotechnology directions in Arkhangelsk region.