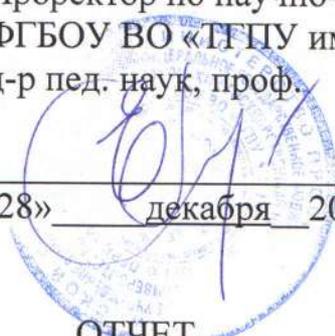


Министерство просвещения Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
высшего образования
«Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»
(ФГБОУ ВО «ТГПУ им. Л.Н. Толстого»)

УДК 595.772:638.4:591.61:665.219.5
Рег. № НИОКТР – 123032100037-4
Рег. № ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-исследовательской работе
ФГБОУ ВО «ТГПУ им. Л. Н. Толстого»
д-р пед. наук, проф.


Ромашина Е.Ю.
«28» декабря 2023 г.

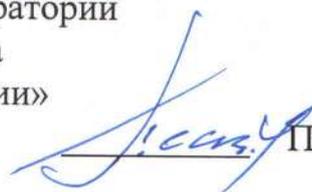
ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ
— С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП МАКРО- И
МИКРООРГАНИЗМОВ И ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПРОДУКТОВ С
ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

в рамках государственного задания Министерства просвещения России,
соглашение № 073-03-2023-030/2 от 14.02.2023 г.
(промежуточный)

Руководитель работы,
Д-р с.-х. наук, проф.,
заведующий микробиологической лабораторией
центра технологического превосходства
«Передовые химические и биотехнологии»
ТГПУ им. Л. Н. Толстого


Песцов Г.В.

Тула 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,

д.с.-х.н., проф.


(подпись, дата) 25.12.23

Г.В. Песцов

(Введение, заключение раздел 1, 2)

Младший научный

сотрудник


(подпись, дата) 25.12.23

А.В. Третьякова

(Раздел 1, 2)

Преподаватель


(подпись, дата) 25.12.23

А.С. Мягкова

(Раздел 2)

Лаборант


(подпись, дата) 25.12.23

О.В. Прокудина

(Раздел 1, 2, приложение А)

РЕФЕРАТ

Отчёт 52 с., 1 кн., 20 табл., 14 рис., 20 источн., 1 прил.

ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА, *HERMETIA ILLUCENS*, ЛИЧИНКИ, УТИЛИЗАЦИЯ, ПИТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ, СУБСТРАТЫ, ОТБОР, СЕЛЕКЦИЯ, БЕЛКОВЫЙ КОНЦЕНТРАТ, БЕЛОК, ЖИР, ЗООГУМУС

Объектом исследования является насекомое *Hermetia illucens* (черная львинка), которое используется для утилизации органических отходов и получения новых продуктов с заданными свойствами.

Цель проекта: разработать способы утилизации различных органических отходов при помощи насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) и получить новые продукты с заданными свойствами для использования в народном хозяйстве.

Исследование построено на базе реализации следующих методов: культивирования насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных субстратах в контролируемых условиях; скрещивания и отбор линий мух черная львинка с целью увеличения их продуктивности и повышения адаптационного потенциала; получение биомассы личинок, белка, жира и зоогумуса для дальнейшего использования, и получения новых продуктов.

В результате исследования:

1. Разработаны способы культивирования насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных субстратах.
2. Определены оптимальные условия для утилизации различных видов субстратов линиями мух вида *Hermetia illucens*.
3. Разработан метод скрещивания линий мух черная львинка с целью увеличения их продуктивности и повышения адаптационного потенциала.
4. Отобраны наиболее активные линии мух для использования в производственных условиях для получения биомассы личинок, белка и жира.

В результате проведенной научно-исследовательской работы опубликованы (находятся в печати) или на электронных ресурсах 10 статей, 3 из которых в журналах, рекомендованном ВАК, 7 статей в РИНЦ, подана заявка на изобретение (Приложение А), сделано 12 научных докладов на конференциях различного уровня.

Научная новизна, разрабатываемого проекта, заключается в проведении отбора насекомых вида *Hermetia illucens* (черная львинка) для утилизации различных бытовых отходов и отходов сельскохозяйственного производства, скрещивания и отбора линий мух с целью увеличения их продуктивности и повышения адаптационного потенциала, отбора

наиболее активных линий для наработки биомассы личинок, получения белка, жира и зоогумуса для дальнейшего использования и получения новых продуктов.

Область применения результатов исследования находится в сфере сельского хозяйства и сельскохозяйственной биотехнологии в части утилизации различных органических отходов и получения полезных продуктов.

Результаты научно-исследовательской работы можно использовать на предприятиях, занимающихся практической утилизацией органических отходов. В настоящее время есть заинтересованность в продолжение данной работы у ООО «Львинка» (Тульская область) и ООО «Карельские биотехнологии» (Республика Карелия), которые занимаются разведением мух *Hermetia illucens* (черная львинка) и утилизацией органических отходов.

Проведенное исследование по результатам 2023 года можно рассматривать как законченный этап работы, однако, оно не исчерпывает все аспекты сложного процесса создания популяций насекомых, адаптированных к широкому спектру субстратов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 МЕСТО, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	17
2.1 Разработка способов культивирования насекомого <i>Hermetia illucens</i> (черная львинка) на различных субстратах	17
2.2 Определение оптимальных условий для утилизации различных видов субстратов линиями мух вида <i>Hermetia illucens</i>	26
2.3 Разработка метода скрещивания линий мух черная львинка с целью увеличения их продуктивности и повышения адаптационного потенциала	30
2.4 Отбор наиболее активных линий мух для использования в производственных условиях для получения биомассы личинок, белка и жира	33
2.4.1 Использование жира насекомого черная львинка для получения уходовых косметических средств.....	36
2.4.2 Использование зоогумуса насекомого черная львинка в качестве органической добавки для выращивания мицелия съедобных грибов.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	48
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Сведения о РИД и публикациях результатов НИР.....	51

ВВЕДЕНИЕ

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 [2].

Актуальность исследования. 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.

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к насекомым как источникам высокоусвояемого кормового белка, жира, органических удобрений, сырья для получения косметических средств и других новых продуктов. Одним из важных факторов является возможность содержать и размножать некоторые виды насекомых в культуре в искусственных условиях. Это позволяет использовать их в качестве источников полезных продуктов, получать популяции с определёнными физиолого-биохимическими и генетическими характеристиками, 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, косметологии, сельском хозяйстве [3]. Одним из таких насекомых является *Hermetia illucens* (черная львинка), которая в России с 2023 года признана сельскохозяйственным животным, а разнообразная продукция, получаемая из черной львинки считается сельскохозяйственной продукцией [1].

Научная новизна, разрабатываемого проекта, заключается в проведении отбора насекомых вида *Hermetia illucens* (черная львинка) для утилизации различных бытовых отходов и отходов сельскохозяйственного производства, скрещивания и отбора линий мух с целью увеличения их продуктивности и повышения адаптационного потенциала, отбора наиболее активных линий для наработки биомассы личинок, получения белка, жира и зоогумуса для дальнейшего использования и получения новых продуктов.

Насекомое черная львинка (*Hermetia illucens*) – это крупная муха из семейства львинок (*Stratiomyidae*). Естественным ареалом распространения черной львинки являются тропические и субтропические регионы Северной и Южной Америки. Взрослая особь (имаго) имеет тело чёрного цвета, длиной 15-20 мм. Личинки достигают 27 мм в длину и весят до 440 мг в последней своей стадии развития. Данный вид насекомого является

одним из немногих, способных круглогодично развиваться в культуре, что позволяет использовать вид в биотехнологических целях [3, 15]. При разведении мухи *Hermetia illucens* основными факторами, воздействующими на рост и развитие являются: освещение; влажность; температурный режим; кормовой субстрат. Несмотря на спектр факторов, необходимых для разведения черной львинки, насекомое отличается неприхотливостью. Личинки способны развиваться в широком диапазоне температуры (20-50°C) и влажности (40–90%). Ключевыми параметрами, необходимыми для разведения насекомого, являются влажность воздуха, которая должна составлять не менее 70%, и температура воздуха (около 30°C), а также наличие питьевой воды и освещения [7]. Интерес к разведению и использованию черной львинки заключается в утилизации различных органических отходов, получении белкового концентрата для производства кормов сельскохозяйственных животных и аквакультуры, а так же жира и продуктов из него, для использования в химической, пищевой, фармацевтической и косметической отраслях [5, 6, 9]. Личинки черной львинки способны перерабатывать широкий спектр органических отходов. Это связано с их всеядностью по отношению к углеводной и белковой пищи. В результате деятельности ферментной системы личинок органические отходы превращаются в зоогумус с высоким содержанием азота, фосфора, калия, макро- и микроэлементов, который можно использовать в качестве органического удобрения и улучшателя почв, а биомассу личинок в качестве корма для сельскохозяйственных животных, а также для получения белкового концентрата и жира [8, 11]. Процентное содержание различных веществ в личинках и предкуколках насекомого *Hermetia illucens* зависит от качества корма и может изменяться. Так же на биохимический состав сушёных личинок влияет метод сушки. Существует два метода: распылительная сушка и сушка в сушильном шкафу. При распылительной сушке содержание белка в личинках выше, а при сушке в сушильном шкафу выше содержание липидов. Считается, что метод распылительной сушки является более эффективным и качественным, а также занимает меньше времени [20].

Биохимический состав сушеных личинок может варьировать. Он зависит от метода сушки, от корма, внешних факторов и других параметров, но чаще всего он составляет 35,5-48,3% белка, 20,6-45,5% жира, хитина 5-7%. 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%). Среди незаменимых аминокислот, входящих в состав сушеных личинок, самыми распространёнными являются лейцин (3,62%), лизин (3,6%), валин (3,09%), гистидин (2,77%), метионин (1,07%), аргинин (2,84%), изолейцин (2,11%), треонин (2,52%), триптофан (0,66%), фенилаланил

(2,28%). Среди заменимых: аланин (4,11%), аспарагиновая кислота (5,56%), глутаминовая кислота (6,98%), глицин (3,31%), пролин (4,08%), серин (2,55%), цистеин (1,07%). Так же личинки черной львинки имеют высокую концентрацию насыщенных жирных кислот, таких как лауриновая кислота (17,89%) и пальмитиновая кислота (20,65%) и полинасыщенных жирных кислот, таких как омега-3 (0,05%) и омега-6 (0,05%). Среди витаминов чаще всего встречаются В1 (0,002%), В2 (0,005%) и С (0,0003%). Наиболее распространёнными минералами, входящими в биохимический состав сушеных личинок являются: калий, натрий, магний, цинк, марганец и медь [20]. Содержание холестерина в личинках составляет 1,36 - 1,62 мг/г, это сравнимо с содержанием холестерина в креветках (1,5 мг/г), но основную массу стероидов составляют стероиды растительного происхождения (фитостероиды). Таким образом, из-за достаточно высокого содержания фитостероидов личинки мух *Hermetia illucens* могут служить сырьем для производства продуктов питания для людей. Благодаря высокому содержанию незаменимых аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов биомасса сушеных личинок является качественным кормом для сельскохозяйственных животных, птицы, аквакультуры, а так же для домашних животных: ежей, хомяков, крыс, шиншиллы, рептилий и др. При кормлении животных, птиц и аквакультуры личинками черной львинки их иммунная система становится более устойчивой, что позволяет экономить значительные суммы на ветеринарных препаратах. Так же, личинка черной львинки обладает большим количеством меланина, пигмента, имеющего высокую биологическую активность. Он способен оказывать противоопухолевое, иммуномодулирующее и противомикробное действие. Благодаря такому биохимическому составу, высушенная биомасса личинок характеризуются длительными сроками хранения, без потери полезных свойств [4, 18, 19].

При помощи маслопресса из биомассы сушеных личинок получают белковый концентрат и жир. Белковый концентрат, полученный из сушеных личинок насекомого *Hermetia illucens*, представляет собой продукт, содержащий высокое количество белка и других питательных веществ. Процесс получения концентрата начинается с выращивания личинок на корме, который содержит все необходимые питательные вещества для их роста и развития. Так же процесс получения белкового концентрата зависит от типа корма, на котором растут личинки. Повышенное содержание белка в кормах будет способствовать получению большего количества белкового концентрата. Когда личинки достигают двухнедельного возраста, их отбирают и отправляют на обработку. В процессе обработки личинок высушивают и пропускают через маслопресс, в результате получая белковый концентрат и жир. Полученный белковый концентрат содержит до 90% чистого белка. Белковый концентрат из насекомого *Hermetia illucens* является ценным продуктом

для питания сельскохозяйственных и домашних животных. Он содержит все необходимые аминокислоты, витамины и минеральные вещества, которые необходимы для их нормального роста и развития. Кроме того, белковый концентрат является источником белка, который после соответствующей очистки может использоваться для изготовления спортивного питания [16].

В результате отжима сушеных личинок в маслопрессе, помимо белкового концентрата, получают жир, который образуется в жировых тельцах насекомого. В настоящее время жир мало используется из-за недостаточно разработанных технологий его применения, хотя и является основным энергетическим субстратом, участвующим в гормональной регуляции процессов жизнедеятельности и синтезе антимикробных пептидов. До 90% липидов черной львинки содержатся в форме триглицеридов, а остатки хранятся в виде липидных капелек. Эти структуры играют главную роль в регулировании липолиза путем защиты триглицеридов от активности липазы. Как правило, липиды насекомых остаются жидкими при комнатной температуре, за исключением жира *Hermetia illucens*, который при комнатной температуре остаётся твёрдым. Его температура плавления 40°C, запах слабовыраженный, не гнилостный, цвет варьируется от белого до коричневого. Биохимический состав жира *Hermetia illucens* характеризуется высоким содержанием лауриновой жирной кислоты, которая обладает бактерицидными свойствами, также он содержит монолаурин, который обладает антибактериальной, противовирусной и противогрибковой активностью. Помимо этого, жир черной львинки содержит противомикробные пептиды (цекропины, сартоксины, стомаксины и др.), которые наряду с остальными биологически активными веществами, входящими в биохимический состав жира, обеспечивают мощный антимикробный комплекс. По своим характеристикам жир насекомого *Hermetia illucens* может применяться для производства натуральной органической косметики. Основными компонентами в натуральной косметике являются жиры растительного происхождения (кокосовое масло, масло жожоба, масло бабассу) из-за высоко содержания лауриновой кислоты (около 39%) эти масла быстро впитываются и дают ощущение мягкости кожи. Но вместе с лауриновой кислотой в состав этих масел входит большое количество миристиновой кислоты (около 23%), которая вызывает образование комедонов и закупоривает поры. В составе жира личинок черной львинки имеется большее количество лауриновой кислоты (49%) и гораздо меньше миристиновой кислоты (около 7%), такое соотношение органических кислот не оказывает негативного влияния на кожу и при этом обладает антимикробной активностью, подавляет развитие патогенной микрофлоры. Большинство косметических брендов (Organic Shop, Organic Kitchen, Natura Siberica) в качестве эмоленгов в составе

своей продукции используют минеральное масло, парафин, жидкий парафин, вазелин. Эти компоненты считаются химически и биологически нейтральными. Они не впитываются в кожу, не усваиваются клетками, также они недорогие и стабильны в формуле продукта. Но при их регулярном применении на коже образуется непроницаемая пленка, из-за этого блокируется часть функций кожи [14]. В целом жирнокислотный состав черной львинки схож с кокосовым маслом. Поэтому жир *Hermetia illucens* является потенциальным качественным сырьем для изготовления различных уходовых косметических средств [17].

В процессе переработки органических отходов личинками насекомого вида *Hermetia illucens* получается зоогумус, состоящий из остатков непереваренного кормового субстрата, экскрементов личинок, микрофлоры и остатков внешнего хитинового покрова насекомого. Основные питательные вещества зоогумуса находятся в виде различных соединений гумусовых кислот, содержат макро- и микроэлементы, необходимые для развития высших растений [10]. Кроме того, зоогумус может использоваться в качестве органической добавки в питательные среды и субстраты при выращивании мицелия съедобных грибов [12, 13].

Цель исследования: Разработать способы утилизации различных органических отходов при помощи насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) и получить новые продукты с заданными свойствами для использования в народном хозяйстве

Задачи исследования:

1. Разработать способы культивирования насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных субстратах.
2. Определить оптимальные условия для утилизации различных видов субстратов линиями мух вида *Hermetia illucens*.
3. Разработать метод скрещивания линий мух черная львинка с целью увеличения их продуктивности и повышения адаптационного потенциала.
4. Отобрать наиболее активные линии мух для использования в производственных условиях для получения биомассы личинок, белка и жира.

1 Место, объекты и методы исследований

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» (индустриальный партнер). Органические отходы предоставлены ПАО «Магнит» и музеем-усадьбой Л.Н. Толстого «Ясная поляна».

Объектом исследования является насекомое *Hermetia illucens* (черная львинка), которое используется для утилизации органических отходов и получения новых продуктов с заданными свойствами (рис. 1, 2).



Рисунок 1 – Взрослая стадия (имаго) насекомого вида *Hermetia illucens*



Рисунок 2 – Личинка насекомого вида *Hermetia illucens*

Для изучения влияния состава субстрата, температуры, влажности и освещенности на откладку яиц, вылупление, рост и развитие личинок насекомого вида *Hermetia illucens* использовали термостаты (ТС-1/80 СПУ) и помещения инсектария, где поддерживалась постоянная температура, влажность и освещенность: для взрослых особей (имаго), копуляции и откладки яиц поддерживали температуру 27-31⁰С, для личинок 1-3 суток также 27-31⁰С, влажность 70-90%, цветовая температура света 5500 К (кельвинов), освещенность 1500-5500 лк (люксов) (рис. 3).



Рисунок 3 – Откладка яиц взрослыми особями (имаго) насекомого вида *Hermetia illucens* в инсектарии

Для личинок 4-12 суток температура содержания была 19-27⁰С. Опыты закладывали в 8-ми кратной повторности. Количество личинок в каждой повторности было 100 шт., 200 шт. или 400 шт. Переработку органических отходов и получение биомассы личинок проводили в пластиковых контейнерах размером 30х20х10 см, 40х30х30 см, 60х40х23 см, 80х40х23 см (рис. 4).



Рисунок 4 – Культивирование личинок в контейнере размером 60х40х23см (240 см²)

В селекционной работе над линиями насекомого вида *Hermetia illucens* использовали индивидуальные скрещивания (одна самка и один самец) в пластиковых контейнерах (рис. 5).



Рисунок 5 – Индивидуальные скрещивания насекомого вида *Hermetia illucens* в контейнере

Индивидуальные отборы совершали путем отбора 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, влажности и освещенности. Яйца, полученные от этой пары мух (рис. 6), помещали на питательный субстрат в отдельный контейнер, вылупившиеся личинки культивировали изолированно в этом же контейнере. В процессе роста личинок, отбирали самые крупные личинки, позже отбирали самые крупные куколки из этой же 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 чистые линии изофеминных аутбредных (потомков одной самки) мух.



Рисунок 6 – Яйца насекомого вида *Hermetia illucens*, полученные в результате индивидуального скрещивания мух

Наиболее активные линии мух получали методом отбора по двум параметрам: скорости прохождения фаз развития (первые вылупившиеся личинки) и массе личинок.

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) (рис. 7). Личинок сушили при температуре 100⁰С и помещали в маслопресс по 400 г в каждой пробе, маслопресс разделял биомассу на белковый концентрат (рис. 8) и жир (рис. 9), которые взвешивали, а данные статистически обрабатывали.



Рисунок 7 – Разделение сушеной биомассы личинок на белковый концентрат и жир при помощи маслопресса



Рисунок 8 – Белковый концентрат личинок насекомого вида *Hermetia illucens*



Рисунок 9 – Жир личинок насекомого вида *Hermetia illucens*

В опытах по изучению дальнейшего использования очищенного жира личинок *Hermetia illucens* для создания тестовых косметических уходовых средств кожи человека, жир получали путём отжима сушёных личинок с помощью маслопресса, затем его отстаивали в течение суток, фильтровали и добавляли эфирные масла. Для изготовления уходовых косметических средств, использовали композиции эфирных масел (лайм и мята, лимон и эвкалипт, мандарин и корица, лаванда и лемонграсс, шалфей и мелисса), которые, кроме запаха, придают косметике дополнительные полезные свойства, так как обладают антисептическим действием и укрепляют кожу.

Процесс приготовления уходовых косметических масел из жира черной львинки включает несколько этапов: ёмкость с жиром личинок *Hermetia illucens* помещают на водяную баню для перехода жира в жидкое состояние; в растопленный жир добавляют эфирные масла; тщательно перемешивают полученную смесь с помощью стеклянной палочки; разливают полученную смесь в ёмкости и ставят в холодильник.

Для изготовления скрабов используется реакция омыления жиров с применением гидроксида натрия (NaOH). Процесс приготовления состоит из нескольких ключевых этапов: ёмкость с жиром личинок *Hermetia illucens* помещают на водяную баню для перехода жира в жидкое состояние; в дистиллированную воду добавляют гидроксид

натрия (15% от объема смеси); растопленный жир смешивают с щелочным раствором при температуре 40-45°C, температура жира и щелочного раствора должна быть либо одинакова, либо с отклонением не больше 4°C, полученная смесь тщательно перемешивается до однородной консистенции; смешанные жидкости помещают в сушильный шкаф при температуре 80-90°C на 5 часов, затем основа для скраба охлаждается до температуры 25-28°C; в готовую основу добавляют скрабящие элементы и эфирные масла; полученную смесь разливают в ёмкости и ставят в холодильник при температуре 4°C.

В опыте по изучение возможности применения зоогумуса в качестве органической добавки для выращивания мицелия съедобных грибов использовали штаммы вида *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная), *Lentinula edodes* (шитаке), *Lentinus tigrinus* (пилолистник тигровый), *Agaricus bisporus* (шампиньон двуспоровый). Зоогумус состоит из переработанного личинками черной львинки питательного субстрата, остатков непереваренного корма, внешнего хитинового покрова насекомого, экскрементов и специфической микрофлоры. Основные питательные вещества зоогумуса находятся в виде различных гуминовых соединений, содержат в себе макро- и микроэлементы.

В опытах использовали чистые культуры указанных выше съедобных грибов, которые культивировали на питательных средах и субстратах с добавлением различных органических добавок, включая разные концентрации зоогумуса.

Питательные среды и субстраты стерилизовали в автоклаве при 1,2 атм. (60 мин), инокулировали чистой культурой грибов в стерильных условиях микробиологического бокса. При культивировании мицелия поддерживали необходимые температуру. Результаты опытов статистически обрабатывали.

2 Результаты исследований

2.1 Разработка способов культивирования насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) на различных субстратах

Черная львинка проходит полный жизненный цикл метаморфоза, включающий яйцо, личинку, куколку и взрослую стадию развития (имаго). При искусственном культивировании насекомого *Hermetia illucens* необходимо учитывать потребности черной львинки на каждой стадии развития. Основными факторами, влияющими на развитие мух, являются плотность популяции, температура, влажность, освещённость, состав корма. В приемлемых условиях, при наличии качественного корма, для прохождения всех личиночных стадий и выхода в предкуколку личинкам потребуется период в 14-16 суток. Личиночная стадия – это единственная стадия, во время которой черная львинка питается, в это время она утилизирует органические отходы, растёт, нарабатывает биомассу и производит запасы белка и жира. Именно эта стадия развития имеет производственное и экономическое значение. Другие стадии необходимы для получения яиц и молодых личинок. Оптимизация условий содержания на разных стадиях развития, изучение возможности использования различных субстратов и адаптация популяции к ним позволяет создать замкнутый цикл для получения белка, жира, зоогумуса и полезных продуктов из них.

Одним из важных факторов при переработке органических отходов является плотность популяции личинок насекомого *Hermetia illucens*, от этого параметра зависит как скорость переработки субстрата, так и наработка биомассы личинок. Кроме того, плотность популяции имеет большое значение для создания личинкам комфортных условий для жизни и развития. При достаточной плотности популяции в определенных местах контейнера образуются значительные плотные скопления личинок, которые трутся друг о друга, разогревая субстрат до температуры 40-45°C, при этом утилизация органических отходов значительно ускоряется.

Изучение влияния плотности популяции на переработку органических отходов и наработку биомассы личинок насекомого *Hermetia illucens* проводили в стандартных ящиках размером 60x40x23 см (площадь 240 см²). В качестве субстратов использовали комбикорм, мясные отходы, растительные отходы (просроченные бананы). Утилизацию отходов проводили при температуре 23°C и 40% влажности воздуха, без освещения, так как личинки избегают света.

Для засева в ящики использовали популяции 3-х дневных личинок насекомого *Hermetia illucens* в количестве 3000 шт., 5000 шт., 7000 шт., 9000 шт. и 11000 шт. личинок в каждый ящик (повторность опыта восьмикратная). Изначально количество корма в

каждом ящике было 2 кг, в последующем каждый день добавляли (подкормка) еще по 1 кг корма в течение 8 суток. Таким образом, было израсходовано по 10 кг корма в каждом варианте. Контрольные замеры биомассы 100 личинок проводили на четвертые, шестые и восьмые сутки. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние плотности популяции на переработку органических отходов и наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens*

№	Количество личинок в ящике, шт.	Биомасса личинок, г		
		4 сутки	6 сутки	8 сутки
Комбикорм (контроль)				
1	3000	12,7±1,08	15,9±1,35	19,6 ± 1,66
2	5000	15,1±1,20	18,9±1,50	23,4 ± 1,85
3	7000	16,6±1,34	20,8±1,67	27,6±2,21
4	9000	17,5±1,64	22,9±1,84	24,4 ± 2,28
5	11000	18,4±1,72	19,8±1,85	24,5±2,09
Растительные отходы				
1	3000	13,8±1,17	17,3±1,46	21,6±1,83
2	5000	17,4±1,89	21,8±2,37	27,2 ± 2,96
3	7000	19,6±1,78	25,1±2,01	28,9±2,31
4	9000	20,1±1,61	27,6±2,2	28,1± 2,62
5	11000	22,1±1,78	26,9±2,15	27,9±2,38
Мясные отходы				
1	3000	15,2±1,29	16,9±1,43	18,8±1,59
2	5000	17,1±1,36	19,7±1,56	22,6±1,79
3	7000	17,1±1,59	19,6±1,83	26,6±2,13
4	9000	17,5±1,64	21,9±2,05	23,42±2,19
5	11000	17,8±1,67	19,6±1,84	23, 28±1,99

Как показали результаты опыта, при замерах на 4-е сутки наиболее активно перерабатывали субстрат и нарабатывали биомассу личинки при плотности популяции 11000 шт. на ящик (45,8 шт/см²). На 6-е сутки наибольшая биомасса была у личинок при плотности популяции 9000 шт., то есть при плотности популяции 37,5 шт/см², а на 8-е сутки наилучшие показатели были при плотности популяции в 7000 шт., или 29,2 шт/см².

Это связано с тем, что личинки растут все время, при высокой плотности им становится недостаточно места, субстрат перегревается, личинки начинают расплзаться, они перестают питаться, ищут комфортные условия и пытаются распределиться в более подходящие места. Поэтому, с точки зрения технологического процесса, наиболее

плотные популяции надо расселять, но с точки зрения экономики производства – это дополнительные затраты, особенно при автоматизации процесса. Причем, эту закономерность наблюдали на всех испытываемых субстратах, больше всего была биомасса 100 шт. личинок на растительном субстрате (28,9 г), несколько хуже на комбикорме (27,6 г) и мясных отходах (26,6 г). Исходя из полученных данных можно сделать заключение, что в данном опыте оптимальной плотностью является популяция 7000 шт. личинок на ящик размером 240 см².

Для изучения влияния размеров контейнеров на утилизацию органических отходов и наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens* использовали плотность популяции личинок 29 шт/см² (0,034 см² на одну особь). Для соблюдения этих параметров в контейнеры размером 30x20x10 см запускали 1750 шт. личинок, в контейнеры 40x30x30 см – 3500 шт., в контейнеры 60x40x23 см – 7000 шт. и в контейнеры 80x40x10 см – 9300 штук личинок черной львинки. В качестве субстратов использовали комбикорм, мясные отходы, растительные отходы (просроченные бананы). Результаты опыта представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние площади контейнеров на переработку органических отходов и наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens* (100 шт./г, учет на 10 суток)

№	Субстрат	Размеры ящика, см			
		30x20x10	40x30x30	60x40x23	80x40x23
1	Комбикорм	19,6±2,02	23,5±2,24	30,5±2,69	29,9±2,64
2	Мясные отходы	18,56±1,91	22,3±2,29	28,9±2,98	29,8±2,76
3	Растительные отходы	19,9±2,05	23,9±2,46	31,1±3,19	28,0±2,87

Как показали результаты исследования, наилучшие результаты по приросту биомассы личинок были получены в вариантах с размерами ящиков 60x40x23см и 80x40x23 см, средняя биомасса 100 шт. личинок на комбикорме составляла 30,5 г и 29,9 г, на мясных отходах 28,9 г и 29,8 г, а на растительных отходах 31,1 и 28,0 г соответственно, это показывает, что нет необходимости дальнейшего увеличения площади контейнеров, образование плотного скопления (пула) личинок и глубокая переработка органических субстратов хорошо происходит начиная с контейнеров площадью 60x40x23см (240 см²) (рис. 4). В производственных условиях более большие контейнеры менее удобны для перемещения и технологических операций.

Для изучения влияния состава корма на наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens* использовали корма следующего состава: комбикорм

(контроль), пищевые отходы (мясные), кисломолочные продукты, растительные отходы, пищевые отходы (хлебные), отходы животноводства (ферментированный навоз крупного рогатого скота). Результаты опыта представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние состава корма на наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens* (100 шт./г)

№	Вариант корма	Учет биомассы 100 шт. личинок		
		на 6 сутки, г	на 9 сутки, г	на 12 сутки, г
1	Комбикорм (контроль)	17,5±1,81	24,5±2,53	27,0±2,79
2	Пищевые отходы (мясные)	16,6±1,71	23,3±2,39	25,6±2,63
3	Кисломолочные отходы	13,4±1,13	18,8±1,58	20,7±1,74
4	Растительные отходы	17,8±1,83	24,9±2,56	27,4±2,82
5	Пищевые отходы (хлебные)	19,6±1,92	27,4±2,69	30,1±2,96
6	Отходы животноводства	15,4±1,37	21,6±1,92	23,8±2,11

Как показали результаты опыта, наибольшую биомассу нарабатывали личинки при использовании пищевых хлебных отходов, средняя масса 100 личинок составляла 30,1 г, близкие показатели по биомассе личинок были при использовании растительных отходов (27,4 г) и комбикорма для кормления кур (27,0 г). Несколько ниже были показатели при использовании пищевых мясных отходов (25,6 г), возможно это связано с наличием консервантов и специй в просроченных отходах (колбаса, сосиски и др.). Самые низкие показатели по наработке биомассы были отмечены при использовании кисломолочных отходов (20,7 г), однако именно кисломолочные отходы, наряду с отходами животноводства, являются самыми большими по объему. Показано, что полученная большая биомасса личинок объясняет тенденции в их предпочтениях кормовой базы, наилучшим кормом являются просроченные хлебобулочные изделия.

Обращает на себя тот факт, что разница в биомассе личинок на 6-е и 9-е сутки составляет около 30%, а на 9-е и 12 сутки только 10%. Это объясняется завершением интенсивного роста личинок и подготовкой их перехода в стадию предкуколки. Поэтому, для оптимизации производственного цикла необходимо стремиться к сокращению времени личиночной стадии, необходимо заканчивать откорм личинок к моменту прекращения активного роста (на 9-10 сутки), это позволит получать больше биомассы личинок в единицу времени. Также необходимо вести отбор популяции по скорости прохождения личиночной стадии.

Параллельно с изучением влияния состава субстрата на наработку биомассы личинок черной львинки, был поставлен эксперимент по изучению конверсии субстратов. Суть эксперимента заключается в использовании ограниченной массы (200 г) различных субстратов и фиксированного количества трехдневных личинок (4000 шт.) без добавления подкормки. Опыт проводили в контейнерах 60x40x23см (240 см²). Прирост биомассы получали, вычитая массу личинок на 3-и из биомассы личинок на 8-е сутки, и вычисляли конверсию 200г корма в процентах, то есть сколько прибавилось биомассы личинок при поедании 200 г корма. В таблице 4 представлен учет конверсии корма в биомассу личинок на 8 сутки, так как было установлено, что в последующем личинки полностью выедали корма и теряли свою биомассу.

Таблица 4 – Конверсия корма личинками насекомого *Hermetia illucens*

№	Субстрат	Масса личинок на 3 сутки,	Масса личинок на 8 сутки, г	Прирост биомассы, г	Конверсия субстрата, %
1	Комбикорм (контроль)	166,9 ± 14,13	313,2 ± 24,84	146,3	73%
2	Пищевые отходы (мясные)	160,9 ± 14,18	318,7 ± 26,27	157,8	79%
3	Кисломолочные отходы	160,5 ± 13,76	268,6 ± 24,41	108,1	54%
4	Растительные отходы	162,3 ± 13,73	336,2 ± 29,14	173,9	87%
5	Пищевые отходы (хлебные)	166,2 ± 14,31	368,1 ± 29,51	201,9	101%
6	Отходы животноводства	168,2 ± 14,68	303,5 ± 25,02	135,3	68%

Как показали результаты исследования, наилучшая конверсия была при использовании пищевых хлебных отходов, при поедании 200 г хлебных отходов в течение 8 суток, 4000 шт. личинок набирали биомассу 368,1 г, что соответствует приросту биомассы в 201,9 г и соответствует 101% конверсии субстрата, второй по значимости показатель был при использовании в качестве субстрата растительных отходов (в данном случае просроченных бананов), конверсия субстрата составляла 87%, при утилизации мясных отходов – 79%, при использовании отходов животноводства – 68%, а самый низкий показатель при применении кисломолочных отходов – 54%. Данный эксперимент показывает, какие субстраты подвергаются более глубокой конверсии, однако все они успешно утилизируются личинками черной львинки.

Для продолжения изучения влияния состава корма на наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens* использовали корма следующего состава: зерно

дроблёное, зерно дроблёное + мука, зерно плющенное, семечки подсолнуха дробленые (СПД), зерно плющенное + СПД, отруби, отруби + СПД, мука + СПД, предоставленные ПАО «Магнит». Муку и СПД добавляли в количестве 40%. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние состава корма на наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens* личинок (100 шт./г)

№	Субстрат	Учет биомассы 100 шт. личинок		
		на 6 сутки, г	на 9 сутки, г	на 12 сутки, г
1	Зерно дроблёное	18,2 ± 1,54	23,9 ± 1,9	26,1 ± 2,07
2	Зерно дроблёное + мука	17,9 ± 1,44	26,5 ± 2,23	28,9 ± 2,44
3	Зерно плющенное	17,5 ± 1,54	24,4 ± 2,01	26,6 ± 2,19
4	Зерно плющенное + СПД	18,1 ± 1,46	27,4 ± 2,39	29,9 ± 2,61
5	Семечки подсолнуха дробленые (СПД)	18,5 ± 1,56	28,1 ± 2,26	30,7 ± 2,46
6	Отруби	17,5 ± 1,50	20,5 ± 1,86	22,4 ± 2,04
7	Отруби + СПД	18,3 ± 1,60	23,2 ± 1,91	25,3 ± 2,09
8	Мука + СПД	17,7 ± 1,51	25,7 ± 2,23	28,0 ± 2,43

Как показали результаты опыта, наибольшую биомассу нарабатывали личинки при использовании дробленых семечек подсолнуха (СПД), средняя масса 100 личинок составляла 30,7 г, близкие показатели по биомассе личинок были при использовании зерна плющенного + СПД (29,9 г), зерна дробленого и муки (28,9) и муки с добавлением СПД (28,0 г). Несколько ниже были показатели при использовании плющеного зерна (26,6 г), и дробленого зерна. Самые низкие показатели по наработке биомассы были отмечены при использовании отрубей (22,4 г), это объясняется низкой питательной ценностью отрубей, положительным фактором является высокая сыпучесть и неслипаемость субстрата и зоогумуса из отрубей. Поэтому имеет смысл добавлять отруби в субстраты, которые при увлажнении не обладают хорошей сыпучестью. Близкие показатели по наработке биомассы личинок в большинстве вариантов объясняются близкими по составу субстратами. Сопоставление значений биомассы личинок на 6-е и 9-е сутки, а также на 9-е и 12-е сутки показало примерно ту же закономерность, что биологическая активность личинок значительно снижается после девяти суток культивирования.

Кроме изучения влияния состава субстрата на наработку биомассы личинок черной львинки, также изучали и конверсию субстратов по схеме, описанной выше. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Конверсия корма личинками насекомого *Hermetia illucens*

№	Субстрат	Масса личинок на 3 сутки, г	Масса личинок на 9 сутки, г	Прирост биомассы, г	Конверсия субстрата, %
1	Зерно дроблёное	163,6 ± 13,85	287,3 ± 22,79	124	62%
2	Зерно дроблёное + мука	160,7 ± 12,99	318,3 ± 26,79	158	79%
3	Зерно плющенное	157,7 ± 13,90	292,4 ± 24,10	135	68%
4	Зерно плющенное + СПД	162,9 ± 13,12	328,9 ± 28,75	166	83%
5	Семечки подсолнуха дробленые (СПД)	166,2 ± 14,03	337,7 ± 27,07	171	86%
6	Отруби	157,4 ± 13,49	246,4 ± 22,39	82	41%
7	Отруби + СПД	164,9 ± 14,39	278,4 ± 22,95	114	57%
8	Мука + СПД	159,1 ± 13,46	308,4 ± 26,73	149	75%

Как показали результаты исследования, наиболее глубокая конверсия корма была при использовании дробленых семечек подсолнуха (СПД), при поедании 200 г СПД в течение 8 суток 4000 шт. личинки набирали биомассу 337,7 г, прирост биомассы составил 171 г, а процент конверсии субстрата 86%. Второй по величине показатель был при использовании в качестве субстрата зерна плющенного + СПД (83%). При утилизации дробленого зерна и муки коэффициент конверсии составлял 79%, а при использовании муки и СПД - 68%, самый низкий показатель конверсии субстрата при применении отрубей – 41%, что показывает зависимость конверсии корма от его питательной ценности субстрата.

Для постановки опыта по изучению влияния состава корма на биомассу живых и высушенных личинок, брали 7000 шт. 3-х дневных личинок и помещали в стандартные ящики (60x40x23 см) и одинаковые условия (23⁰С, влажность воздуха 40%); количество ящиков для каждого варианта корма – 4 шт., учет массы личинок проводили на 6-е и 9-е сутки. Из каждого ящика (предварительно перемешав содержимое ящика) брали 2 пробы по 400 шт. личинок, которые промывали водой, поверхностно подсушивали и взвешивали. Затем личинок высушивали в сушильном шкафу при 100⁰С и взвешивали еще раз. Количество личинок в каждой пробе (400 шт.) объясняется тем фактом, что это оптимальное количество личинок, которое помещается в приемник маслопресса, предназначенного для разделения сушеных личинок на белковый концентрат и жир. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Учет биомассы живых и высушенных личинок, выращенных на различных органических субстратах, (400 шт./г)

№	Вариант корма	Масса личинок на 9 сутки		Отношение веса сухих к живым, %	Масса личинок на 12 сутки		Отношение веса сухих к живым, %
		Живые	Сухие		Живые	Сухие	
1	Комбикорм (контроль)	93,6±7,40	31,8±1,47	34	105,2±5,92	42,4±1,60	40
2	Пищевые отходы (мясные)	78,4±6,64	28,4±1,64	36	89,2±2,28	34,4±2,76	39
3	Растительные отходы	97,6±9,12	35,6±1,60	36	112,8±10,36	47,2±2,29	42
4	Пищевые отходы (хлебные)	100,4±8,04	36,0±2,64	35	116,8±6,96	48,4±4,72	41
5	Кисломолочные отходы	68,8±5,65	22,6±1,89	33	83,7±6,87	29,6±3,28	35
6	Отходы животноводства	80,8±3,60	30,0±2,32	37	96,8±3,56	38,4±2,16	40

Данные, представленные в таблице 7 показывают, что максимальная масса живых личинок на 12 сутки культивирования была на субстрате с пищевыми (хлебными) отходами и составляла 116,8 г живых личинок и 48,4 г высушенных личинок. Это связано с тем, что хлебные пищевые отходы содержат большое количество белка и углеводов, подвергались термической обработке и являются очень доступным кормом, легко перерабатываются личинками. Хорошие результаты были показаны на растительных отходах (просроченные бананы), в этом корме большое количество углеводов, которое позволяет быстро набирать биомассу за счет жира (живые – 112,8 г, сушеные – 47,2 г), несколько хуже были результаты при использовании комбикорма (живые – 105,2 г, сушеные – 42,4 г), так как он более твердый и грубый и личинкам необходимо время, чтобы немного подрасти и адаптироваться к нему. При выращивании на отходах животноводства живые личинки достигали веса 96,8 г, а сушеные – 38,4 г, близкие показатели были и при культивировании личинок черной львинки на мясных отходах, живые личинки достигали 89,2 г, а сушеные – 34,4 г. самые низкие показатели были зафиксированы в варианте с использованием кисломолочных продуктов, живые личинки весили 83,7 г, а сушеные 29,6 г (рис. 10).



Рисунок 10 – Выращивание личинок насекомого вида *Hermetia illucens* на кисломолочных продуктах

Изучение соотношения массы живых и сушеных личинок показало, что во всех вариантах при учете на 9 сутки культивирования процент массы высушенных личинок был в пределах 33-37% по отношению к живой массе, а на 12 сутки колебался в пределах 35-42% и во всех вариантах был ниже при учете на 9-е сутки. Учитывая тот факт, что личинки к 12-м суткам снижают биологическую активность и меньше нарабатывают массы тела, повышение процента массы сушеной личинки по отношению к сырой биомассе связано с формированием хитина и структур, необходимых для выхода в следующую фазу предкуколки. Поэтому при отжиге на маслопрессе на 12 сутки будет больше хитиновых отходов, что, в первую очередь, скажется на качестве белкового концентрата.

Изучение наработки биомассы живых и высушенных личинок продолжали на субстратах, предоставленных ПАО «Магнит». Результаты представлены в таблице 8.

Как и в предыдущем опыте максимальной была биомасса живых и сушеных личинок личинок на 12 сутки культивирования. Все отходы имели зерновую основу, поэтому ожидалось близкие показатели по наработке биомассы личинок. Зерновые отходы содержат большое количество белка и углеводов, не подвергались термической обработке, являются очень ценным кормом, но требуют определенного времени для адаптации личинок к ним. Лучшие показатели были на субстрате с использованием дробленых семечек подсолнуха (СПД), масса живых личинок составляла 122,8 г, а высушенных личинок 43,6 г.

Таблица 8 – Учет массы живых и высушенных личинок, выращенных на различных органических отходах (400 шт./г)

№	Субстрат	Масса личинок на 9 сутки, г		Отношение веса сухих к живым, %	Масса личинок на 12 сутки, г		Отношение веса сухих к живым, %
		живые	сушеные		живые	сушеные	
1	Зерно дроблёное	95,6±7,6	31,9±2,54	33	104,4±8,28	37,3±2,96	36
2	Зерно дроблёное + мука	106,5± 8,92	35,6±2,97	33	115,6±9,76	41,6±3,49	36
3	Зерно плющенное	97,6 ± 8,04	33,2±2,73	34	106,4±8,76	38,9±3,13	37
4	Зерно плющенное + СПД	109,6±9,56	39,1±3,19	34	119,6±10,44	42,1±3,73	35
5	Семечки подсолнуха дробленые (СПД)	112,4±9,04	38,9±3,14	35	122,8±9,84	43,6±3,51	36
6	Отруби	82,0±7,44	26,1±2,39	32	89,6±8,16	29,3±2,62	33
7	Отруби + СПД	92,8±7,64	31,8±2,62	34	101,2±8,36	36,9±2,99	36
8	Мука + СПД	102,8±8,92	35,2±3,06	34	112,0±9,72	40,8±3,47	36

Близкие результаты были показаны в вариантах на субстратах с плющенным зерном и СПД (живые – 119,6 г, сушеные – 42,1 г), на дробленном зерне с мукой (живые – 115,6 г, сушеные – 41,6 г) и плющеном зерне (живые – 106,4 г, сушеные – 38,9 г). Хуже всего развивались личинки в варианте с использованием отрубей (живые – 89,6 г, сушеные – 29,3 г), этот факт еще раз подтверждает заключение о том, что питательная ценность субстрата очень важна. Изучение соотношения массы живых и сушеных личинок показало ту же закономерность соотношения массы сырых и высушенных личинок. При учете на 9-е сутки культивирования процент массы высушенных личинок был в пределах 32-35% по отношению к живой массе, а на 12 сутки колебался в пределах 33-36% и во всех вариантах был выше при учете на 12-е сутки, хотя, в данном опыте, эта разница была не большая.

2.2 Определение оптимальных условий для утилизации различных видов субстратов линиями мух вида *Hermetia illucens*

Одним из важных факторов, влияющих на рост и развитие личинок насекомого *Hmetia illucens*, кроме состава корма, плотности популяции и размера контейнеров является температура. Личинки черной львинки могут жить в широком диапазоне температур, они могут замедлять свой метаболизм при пониженных температурах, даже впадать в анабиоз, но считается, что оптимальной температурой для активной переработки органических отходов личинками черной львинки является 22-24⁰С.

Конечно же, имеет большое значение состав питательного субстрата и плотность популяции, эти данные представлены в предыдущей главе.

В опыте по изучению влияния температуры на утилизацию органических субстратов личинками насекомого *Hmetia illucens* использовали температуры 19°C, 23°C, и 27°C, влажность воздуха в помещении 40%, опыт проводили в пластиковых контейнерах размером 60x40x23см (240 см²), в которые помещали 2 кг корма и трехдневных личинок в количестве 7000 шт. в каждый, то есть на каждую личинку приходилось 0,034 см². Критерием активности личинок является переработка корма (включая подкормки), этот процесс идет непрерывно. В течение последующих 9 суток, каждый день добавляли по 1 кг корма и проводили учет наработки биомассы личинок, в каждой пробе брали по 100 шт. личинок, повторность опыта восьмикратная. В качестве субстрата использовали комбикорм для кормления кур. Результаты представлены на рисунке 11.

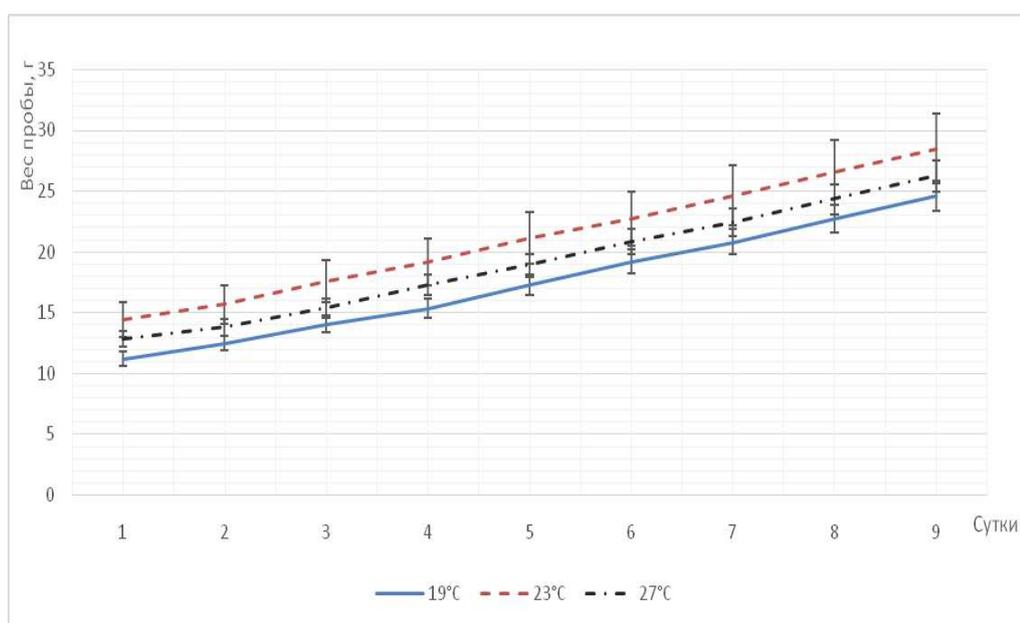


Рисунок 11 – Динамика наработки биомассы личинками насекомого *Hmetia illucens* в зависимости от температуры (100 шт./г)

Как видно из данных, представленных на рисунке 11, наработка биомассы личинками черной львинки имеет практически линейную зависимость и пропорционально распределена во времени, что имеет практическое значение. Анализируя график, следует отметить, что наилучшей для развития личинок черной львинки является температура 23°C. При этой температуре на 9 сутки пребывания в откормочном помещении и культивирования на комбикорме масса 100 личинок достигла 28,5 г. Личинки образовывали плотные скопления с температурой внутри 36-38°C (рис. 12), в таких скоплениях постоянно происходило движение и активное поедание корма, в скопления постоянно втягивались новые личинки, которые росли и выравнивались в размерах, популяция становилось более ровной как по размерам, так и по активности личинок. При

пониженной температуре в помещении (19°C) этот показатель достигал 24,6 г, это связано с тем, что понижение температуры способствует снижению жизненной активности личинок. При повышении температуры до 27°C наблюдали избыточную активность личинок, они образовывали плотные скопления, в которых температура поднималась до 47°C, а это избыточное значение и личинки стали расплзаться и искать себе более комфортные места, в это время они не питались.



Рисунок 12 – Скопление личинок насекомого вида *Hermetia illucens*

Изучение влияния температуры на наработку биомассы личинками насекомого *Hermetia illucens* на разных субстратах при различных температурах проводили по методике, описанной выше. В качестве субстратов использовали: комбикорм (контроль), пищевые отходы (мясные), кисломолочные продукты, растительные отходы, пищевые отходы (хлебные), отходы животноводства (ферментированный навоз крупного рогатого скота). Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Нарботка биомассы личинок насекомого *Hermetia illucens* на разных субстратах при различных температурах (масса 100 шт. личинок на 10 сутки)

№	Вариант корма	Температура		
		19°C	23°C	27°C
1	Комбикорм (контроль)	25,7±2,08	27,6±1,55	26,2±1,44
2	Пищевые отходы (мясные)	24,1±1,84	28,4±2,27	26,3±2,21
3	Растительные отходы	27,5±1,30	29,6±2,27	29,2±2,01

№	Вариант корма	Температура		
		19°C	23°C	27°C
4	Пищевые отходы (хлебные)	28,4±2,29	30,4±2,77	28,9±1,86
5	Отходы животноводства	21,8±2,01	24,2±1,73	23,5±1,30
6	Кисломолочные отходы	19,6±1,52	23,7±1,82	21,3±1,64

Анализ данных таблицы показал, что оптимальной температурой для культивирования личинок насекомого вида *Hermetia illucens* на всех изучаемых субстратах является температура 23°C. При температуре 19°C личинки развивались несколько медленнее и были распределены неравномерно в контейнере, а при температуре 27°C были активны, но стремились уползти из контейнера, а не нарабатывать биомассу. Наилучшим кормом были пищевые хлебные отходы, биомасса личинок в этом варианте составляла 30,4 г на 100 живых личинок при температуре 23°C. Несколько ниже были показатели при кормлении личинок растительными отходами (бананы), личинки весили 29,6 г. Самые низкие показатели по массе личинок были при использовании кисломолочных продуктов, личинки весили 23,7 г.

Изучение влияния влажности воздуха на утилизацию органических отходов и наработку биомассы личинок насекомого *Hermetia illucens* проводили в помещении инсектария, при температуре воздуха 23°C. Опыт проводили в пластиковых контейнерах размером 60x40x23см (240 см²), в которые помещали 2 кг корма и трехдневных личинок в количестве 7000 шт. в каждый. Каждый последующий день добавляли по 1 кг корма и проводили учет наработки биомассы личинок на 10-е сутки, в каждой пробе брали по 100 шт. личинок. Считается, что влажность воздуха имеет решающее значение при спаривании мух *Hermetia illucens* и вылупления личинок, но какое влияние оказывает влажность воздуха в помещении на переработку органических отходов личинками черной львинки и наработку биомассы ими. Результаты представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Нарботка биомассы личинок насекомого *Hermetia illucens* на разных субстратах при различной влажности воздуха (масса 100 шт./г личинок на 10 сутки)

№	Вариант корма	Влажность		
		30%	40%	50%
1	Комбикорм (контроль)	24,4±2,06	26,3±2, 21	25,7±2,17
2	Пищевые отходы (мясные)	24,6±1,99	25,7±2,08	25,2±2,04
3	Растительные отходы	29,6±2,27	29,9±2,29	29,0±2,22
4	Пищевые отходы (хлебные)	28,7±2,76	31,0±2,82	30,1±2,74

№	Вариант корма	Влажность		
		30%	40%	50%
5	Отходы животноводства	21,8±2,01	24,±1,84	23,7±1,70
6	Кисломолочные отходы	23,4±1,76	22,9±1,73	22,7±1,76

Как видно из таблицы 10, культивирование личинок при влажности 30%,40% и 50% не оказывает существенного влияния на наработку биомассы личинками на разных субстратах, эти значения в каждом варианте очень близки. Возможно это связано с тем, что, согласно разрабатываемой технологии, каждый день осуществляется подкормка субстратом в количестве 1 кг, который имеет влажность 80%, а в случае с кисломолочными отходами - 100% , то есть, влажность воздуха 30-50% не сильно влияет на изменение влажности субстрата, субстрат не успевает подсохнуть. Поэтому возможно культивировать личинки черной львинки в диапазоне 30-50% влажности воздуха. В условиях нашего инсектария влажность воздуха поддерживается на уровне 40%.

2.3 Разработка метода скрещивания линий мух черная львинка с целью увеличения их продуктивности и повышения адаптационного потенциала

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. Адаптированных же линий мух, пригодных для проведения экспериментов в качестве контрольной группы и усовершенствования популяции по заданным критериям, таким, как размер и состав личинок, скорость развития и адаптация к конкретным видам органических отходов, сейчас нет.

При изучении адаптационного потенциала насекомого вида *Hermetia illucens* было выявлено, что для получения стабильных линий мух необходимо разработать метод индивидуального скрещивания особей, благодаря которому будет возможно создавать линии с повышенной или заданной продуктивностью, адаптированных к определенным субстратам. С одной стороны, генетическая гетерогенность обеспечивает стабильность популяции, а с другой, при наличии летальных генов, приводит к полному ее вырождению. Именно генетическая однородность насекомых снижает действие генотипа и врождённых мутаций при исследованиях, определяющих влияние внешней среды на жизнедеятельность, скорость роста и яйценосность мух чёрной львинки.

Для достижения этого результата нашей задачей являлось выведение инбредных (чистых) линий мух, которые были бы генетически однородны и сохраняли постоянство популяции. В чистой линии, посредством искусственного отбора, возможно развитие ценных генов, отвечающих за сохранение и передачу из поколения в поколение определённых заданных качеств, что повышает продуктивность культивирования личинок вида *Hermetia illucens*. Для этого необходимо вести отбор мух чёрной львинки для близкородственного скрещивания и в каждом следующем поколении отбирать наиболее подходящих для промышленных целей особей. При выведении чистой линии, как правило, приходится сталкиваться с такой проблемой, как инбредная депрессия, выражающаяся в накоплении вредных для популяции и даже летальных рецессивных генов, которые, переходя в гомозиготное состояние, всё больше проявляются в последующих поколениях популяции. Однако именно это и помогает избавиться от них, так как при искусственном отборе для дальнейшего воспроизведения отбираются лишь устойчивые к этим факторам особи. На данный момент основные качества, на которые мы делаем упор в выведении чистой линии, это размер личинок и скорость роста. Для этого проводится отбор не только самых крупных особей, но и мух, окуклившихся быстрее остальных в своей популяции. При отборе по этим признакам конечная линия будет обладать наиболее важными для промышленного производства свойствами, которые сократят время, затраченное на культивирование мух вида *Hermetia illucens*.

Разработанный метод индивидуального скрещивания заключается в содержании пары мух в оптимальных условиях и получения от них плодовитого потомства. Для этого взрослых особей мух (имаго) содержали в контейнерах объемом 2 л и 5 л. В контейнеры помещали поилки с водой и приспособления для откладки яиц, состоящие из полос (2x5 см) гофрированного картона, который проверяли каждый день на наличие там отложенных мухами яиц. Отложенные яйца мух помещали в контейнер с кормом на основе комбикорма, фиксировали вылупление, рост и развитие личинок, ежедневно добавляли новый корм. Отмечали переход личинок в фазу предкуколки и куколки. Куколки помещали в контейнеры объемом 5 л (по 200 шт.) и ждали появления из них новых взрослых особей, отбирали самку и самца, которых помещали в отдельные контейнеры для получения яиц и возобновления цикла воспроизводства мух. Так как в этом случае происходит скрещивание последующих поколений мух от одной пары самца и самки, то через несколько поколений мы имеем практически чистую линию, обладающую стабильными свойствами. Спаривание мух и вылупление личинок происходило при 29°C, влажности воздуха 80%. Для повышения адаптационного потенциала личинок содержали при температуре 23°C. Отмечали у различных пар

количество яиц в кладке, количество личинок и их развитие. Использовали насекомых из трех популяций: популяция Истра (компания Биофлай), популяция Воронеж и популяция Тула, которая создана в наших условиях методом перекрестного скрещивания всех трех популяций с последующим отбором самых крупных особей на каждой стадии развития. Результаты опыта представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристики развития потомства насекомого *Hermetia illucens* при получении инбредных линий

№ Поколения	Популяция Истра		Популяция Тула		Популяция Воронеж	
	Количество яиц в кладке	Количество личинок в кладке	Количество яиц в кладке	Количество личинок в кладке	Количество яиц в кладке	Количество личинок в кладке
1	348,3±28,86	259,8±22,71	556,2±40,6	467,9±35,55	455,5±32,57	356,9±27,11
2	249,1±27,27	199,2±11,14	506,7±36,78	407,4±22,55	398,3±20,21	305,6±18,03
3	210,9±16,41	145,3±9,64	448,9±22,19	346,4±24,98	348,7±27,64	256,1±14,86
4	145,8±11,36	106,6±10,3	346,9±14,41	306,3±26,21	296,8±21,07	198,1±16,98
5	107,63±9,41	55,1±3,84	236,9±14,69	146,8±12,50	187,4±14,84	98,5±8,86
6	83,3±4,79	12,6±1,13	179,7±14,78	65,7±5,67	116,5±10,57	42,6±3,69

Разработанный метод индивидуального скрещивания позволил проследить развитие популяции мух, полученных от одной самки и одного самца и рассмотреть происходящие закономерности и изменения. В первом поколении отобрали три пары мух, а в последующих поколениях из каждой пары отбирали по 8 пар от одних родителей (восьмикратная повторность) и спаривали их. Из таблицы 11 видно, что среднее количество яиц в кладке и вылупившихся личинок было больше в популяции Тула, это свидетельствует о том, что отбирая самых активных и крупных особей, а, затем, спаривая их, происходит закрепление определенных признаков. Следует отметить, что 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 поколении оплодотворенных яиц и личинок было меньше. Это связано с тем, что проявляют свое действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволят создать популяцию, лишенную большинства летальных и вредных генов, что даст возможность приступить к межпопуляционному скрещиванию и получить гетерозисный эффект. В близкородственном скрещивании в 6-м поколении среднее количество яиц в кладке у популяции Истра было 83,3 шт., вылупилось личинок – 12,6 шт., в популяции Воронеж яиц было 116,5 шт., личинок – 42,6 шт., в популяции Тула яиц было отложено 179,7 шт., вылупилось личинок – 65,7 шт. В настоящее время проводится близкородственное скрещивание в 7 поколении. Данные исследования имеют научное и

прикладное значение, так как являются основой для получения гетерозисного эффекта при скрещивании чистых линий разных популяций.

2.4. Отбор наиболее активных линий мух для использования в производственных условиях для получения биомассы личинок, белка и жира

Очевидно, что более крупные личинки являются более активными быстрее проходят все фазы развития, перерабатывают больше корма и нарабатывают больше биомассы, но в популяциях черной львинки в каждый момент времени наблюдается распределение личинок на крупные (15%), средние (60%) и мелкие (25%). 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, отвечающих за размер личинок.

В результате изучения развития потомства личинок насекомого *Hermetia 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 популяции и отбора личинок по массе, как крупных, средних, так и мелких особей личинок помещали в стандартные контейнеры (60x40x23 см) и культивировали при температуре 23°C и влажности 40%, каждую фракцию личинок отбирали по размерам и культивировали отдельно. Взвешивание живых и сушеных особей проводили на 6-е и 9-е сутки. Результаты показаны в таблице 12.

Таблица 12 – Распределение массы живых и высушенных личинок в популяции насекомого *Hermetia illucens* (200 шт.)

Личинки	Средняя масса 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	62,2 ± 4,39	22,9 ± 1,84

В результате эксперимента было установлено, что линия личинок насекомого *Hermetia illucens*, обладает нормальными массовыми параметрами, характерными для данного вида насекомого в соответствии с исследуемыми временными диапазонами. Однако суммарная масса популяции личинок, отобранных как изначально крупные в опыте, была выше и достигала на 9-е сутки живых 62,2 г, сушеных 22,9 г. Популяция отобранных личинок среднего размера имела массу 57,5 г живых и 31,5 г сушеных личинок. Изначально отобранные мелкие личинки набрали минимальную массу до 45,5 г у живых и 16,4 г у сухих. В настоящее время не доказано, что такое распределение осуществляется в рамках нормы реакции организма, или обусловлено генетическими особенностями. Возможно, это свидетельствует о целесообразности отбора по размерам и биомассе личинок на определенной стадии развития с последующим закреплением признаков массы (продуктивности) в потомстве и приуроченности (адаптации) к определенному субстрату, а также дальнейшим использованием полученных популяций в производственных условиях. Продолжение научной работы в данном направлении необходимо, так как дает возможность методом скрещивания и отбора получить новые популяции с улучшенными хозяйственными свойствами.

Целью эксперимента было определение влияния состава субстратов для получения преимущественно белкового концентрата и жира из популяции крупных личинок. Белковый концентрат личинок чёрной львинки используют в качестве добавки в корма домашним и сельскохозяйственным животным и для поддержания аквакультуры, а жир для производства моющих и косметических средств. Поэтому, в зависимости от вида необходимого конечного продукта, нужно составлять рацион корма личинок этой мухи и адаптировать популяции личинок мух к этим субстратам.

Для определения влияния состава корма для выращивания личинок чёрной львинки на содержание в них белка и жира использовали корма, состоящие из различных органических отходов. В качестве растительных сельскохозяйственных отходов использовали очистки и некондиционные фрукты и овощи. В качестве пищевых отходов использовали хлебные отходы, 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. На 12-е сутки личинок сушили и помещали в маслопресс по 400 г. в каждой пробе, маслопресс разделял белковый концентрат и жир, которые взвешивали, а данные статистически обрабатывали. Результаты опыта представлены таблице 13.

Таблица 13 – Изучение влияния состава корма на содержание белка и жира в личинках насекомого *Hermetia illucens* при культивировании на различных субстратах (400 г сушёных личинок)

№	Вариант корма	Количество белка, г	Количество жира, г	белок, %	жир, %
1	Комбикорм (контроль)	234,2±27,06	138,2±12,66	59	35
2	Мясные отходы	257,6±29,76	105,3±14,06	64	26
3	Рыбные отходы	248,2±26,11	115,8 ± 15,46	62	29
4	Растительные отходы	117,2±19,30	226,2 ± 21,94	29	57
5	Хлебные отходы	160,8±11,32	200,4 ± 23,4	40	50
6	Отходы животноводства	221,8±20,06	117,8 ± 19,26	55	29
7	Кисломолочные отходы	184,2±17,49	144,8±13,01	46	36

В результате проведённой научно-исследовательской работы, было установлено, что при использовании в качестве корма пищевых (хлебных) отходов белка было 160,8 г, а жира 200,4 г. Это связано с тем, что хлебные отходы содержат растительный белок и большое количество углеводов, поэтому, при использовании их в качестве корма можно получать больше жира и меньше белкового концентрата. Для получения жира лучше всего подходят растительные отходы, соотношение жира и белка составляет 57% на 29%. Мясные и рыбные отходы богаты белком, поэтому при использовании их в качестве корма можно получать больше белкового концентрата и меньше жира. Интересно, что отходы животноводства, на основе навоза крупного рогатого скота, подвергнутые направленной микробиологической ферментации и затем используемые в качестве корма для личинок чёрной львинки, способны превращаться преимущественно в белок (221,8 г), а жира в этом случае получается значительно меньше (117,8 г), эти показатели сопоставимы с содержанием в личинках белка и жира при кормлении их комбикормом (234,2 г белка, 138,2 жира). Комбикорм для кормления кур является идеальным субстратом для выращивания популяции личинок насекомого *H. illucens*, но он имеет определённую цену относительно органических отходов, которые необходимо утилизировать.

Изучение влияния состава корма на содержание белка и жира в личинках насекомого *Hermetia illucens* при культивировании на различных субстратах проводили путем отжима сушеных личинок в маслопрессе. Результаты представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Изучение влияния состава корма на содержание белка и жира в личинках насекомого *Hermetia illucens* (400 г сушёных личинок)

№	Вариант корма	Количество белка, г	Количество жира, г	белок, %	жир, %
1	Зерно дроблёное	178,2±16,84	211,9±18,77	45	53

№	Вариант корма	Количество белка, г	Количество жира, г	белок, %	жир, %
2	Зерно дроблёное + мука	154,7±13,78	220,4±20,01	39	55
3	Зерно плющенное	212,8±18,36	176,9±15,88	53	44
4	Зерно плющенное + СПД	196,3±16,89	184,1±17,46	49	46
5	Семечки подсолнуха дробленые (СПД)	119,6±9,12	256,3±23,45	30	64
6	Отруби	197,6±15,53	183,6±16,99	49	46
7	Отруби + СПД	210,8±18,42	176,5±14,87	53	44
8	Мука + СПД	115,4±10,11	270,2±25,66	29	68

Анализируя данные таблицы можно сказать, что жира больше содержится в личинках, которые выращивали на муке с добавлением дробленых семечек подсолнечника (68% жира и 29% белка), дробленых семечках подсолнечника (64% жира, 30% белка), на дробленом зерне с добавлением муки (55% жира, 39% белка) и просто дробленом зерне (53% жира, 45% белка). В остальных вариантах распределение белка и жира в личинках черной львинки было близким.

Таким образом, изучение влияния состава корма на белково-липидный состав личинок насекомого *Hermetia illucens* позволяет оптимизировать процесс получения белкового концентрата и жира из личинок чёрной львинки. При выращивании личинок на специально подобранном субстрате повышается эффективность получения хозяйственно ценных продуктов, в зависимости от заданной цели. При выращивании личинок на субстратах с повышенным содержанием белка (отходы мясного и рыбного производства, а так же ферментированный навоз), белковый показатель в личинках будет выше, чем липидный. Если выращивать личинки чёрной львинки на субстратах с высоким содержанием сложных и простых углеводов (некондиционные фрукты и овощи, некондиционный хлеб и т. д.), то липидный показатель в составе личинок будет выше, чем белковый.

2.4.1 Использование жира насекомого черная львинка для получения уходовых косметических средств

Жир насекомого черная львинка в настоящее время практически не используется в народном хозяйстве, он, фактически, является побочным продуктом при производстве белкового концентрата, который применяют в качестве добавки в корма животным. Однако этот жир обладает составом сходным с кокосовым маслом, которое активно используется в производстве косметических средств. Поэтому использование жира для получения уходовых косметических средств является актуальным, так как расширяет линейку новых полезных продуктов. Из жира личинок насекомого черная львинка, по

выше описанной методике, нами были произведены масло и скраб (рис. 13). Полученные образцы были отправлены в аккредитованную испытательную лабораторию «LIGHT GROUP» испытательного центра «CERTIFICATION GROUP» для проверки соответствия продукции нормативным документам (ГОСТ Р). Результаты испытаний показаны в таблице 15.

Таблица 15 – Протокол испытаний тестовых образцов скраба и масла из жира личинок черной львинки

Наименование показателей и/или критерий соответствия НД	Единицы измерений	НД на методы испытаний	Значение показателей	
			По НД	результаты испытаний
Физико-химические показатели				
Водородный показатель (рН)	ед. (рН)	ГОСТ 29188.2-2014	3,0-9,0	5,2 ±0,1
Токсикологические показатели				
Индекс токсичности (общетоксическое действие, определяемое альтернативными методами in vitro)	усл. Ед.	МР 1.1.0120-18	Отсутствует	Отсутствие (0) Продукция не токсична
Токсичные элементы				
Свинец	мк/кг	ГОСТ 31676-2012	Не более 5,0	Не обнаружено
Мышьяк	мк/кг	ГОСТ 31676-2012	Не более 5,0	Не обнаружено
Ртуть	мк/кг	ГОСТ 31676-2012	Не более 1,0	Не обнаружено
Клинические показатели				
Раздражающее действие	балл	ГОСТ 32893-2014 п 8.2	0 баллов (отсутствие)	0 баллов (отсутствие)
Сенсибилизирующее действие	балл	ГОСТ 32893-2014 п 8.3	0 баллов (отсутствие)	0 баллов (отсутствие)
Микробиологический показатель				
Общее количество мезофильных аэробных микроорганизмов	КОЕ в 1 г. (мл)	ГОСТ ISO 21149-2020	Не более 1x10 ³	Менее 15
Candida albicans	-	ГОСТ ISO 18416-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)
Escherichia coli	-	ГОСТ ISO 21150-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)
Staphylococcus aureus	-	ГОСТ ISO 22718-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)
Pseudomonas aeruginosa	-	ГОСТ ISO 22717-2018	Не допускается в 0,1 г (мл)	Не обнаружено в 0,1 г (мл)



Рисунок 13 – Уходовые средства масло и скраб, полученные из жира черной львинки

На основании результатов испытания удалось установить, что жир личинок насекомого *Hermetia illucens* соответствует ГОСТам, является безопасным и качественным сырьём для изготовления органических уходовых косметических средств. Косметическая продукция, произведённая из жира личинок черной львинки, не обладает раздражающим кожу действием, не содержит токсичных веществ и патогенной микрофлоры, способствует заживлению микротрещин, обладает антиоксидантными и увлажняющими свойствами, которые помогают предотвратить раннее старение кожи. В настоящее время результаты испытаний переданы в уполномоченный орган по сертификации продукции ООО «Эксперт-С» для получения сертификата соответствия.

2.4.2 Использование зоогумуса насекомого черная львинка в качестве органической добавки для выращивания мицелия съедобных грибов

Побочным продуктом переработки органических отходов личинками насекомого *Hermetia illucens* является зоогумус, который обычно используют как органическое удобрение. Применение зоогумуса для получения и производства мицелия позволяет использовать его в новом качестве, что открывает новые возможности и значительно расширяет спектр его применения.

В настоящее время актуальным становится производство мицелия съедобных грибов. Раньше он в основном импортировался из-за рубежа, то на сегодняшний день поставки прекратились, а производство качественного отечественного мицелия налажено недостаточно. Также есть проблема производства необходимого объема и видового разнообразия мицелия. Для крупных компаний, выращивающих съедобные грибы, проблема поставки качественного мицелия в нужном объеме очень актуальна.

Для изучения роста мицелия на питательных средах и субстратах использовали мицелий съедобных грибов *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная), *Lentinula edodes* (шиитаке), *Lentinus tigrinus* (пилолистник тигровый). Все эти грибы являются активными биодеструкторами древесины, а их плодовые тела обладают высокими вкусовыми качествами и содержат большое количество важных для нормального функционирования организма человека веществ.

Для выращивания мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная) использовали питательные среды различного состава: голодный агар без добавок (ГА) (контроль); картофельный агар (КА); голодный агар (ГА) с добавлением растворов зоогумуса (ЗГ) в четырех концентрациях: ГА+ЗГ 1%; ГА+ЗГ 10%; ГА+ЗГ 40%; ГА+ЗГ 70%. Замеры линейного роста мицелия проводили на 3, 5, 7 сутки. Повторность опыта восьмикратная. Результаты представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Изучение скорости роста мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* на различных питательных средах

№	Питательная среда	3 сутки, мм	5 сутки, мм	7 сутки, мм	%, к контролю
1	ГА (контроль)	2,7±0,25	36,7 ± 3,83	54,3 ± 4,54	100
2	ГА + ЗГ 1%	9,1 ±0,80	42,5 ± 1,87	61,8 ± 1,94	113
3	ГА + ЗГ 10%	14,2±1,21	72,3 ± 5,16	85,3 ± 6,91	157
4	ГА + ЗГ 40%	13,1±1,20	63,2 ± 5,41	82,5 ± 6,74	151
5	ГА + ЗГ 70%	6,9±0,80	30,5 ± 4,42	48,5 ± 2,43	89
6	КА	10,4±0,92	60,8 ± 5,07	76,7 ± 6,58	141

Анализ данных таблицы 16 показывает, что скорость роста мицелия гриба *P. ostreatus* была наибольшей на питательной среде с добавлением экстракта зоогумуса в концентрации 10%. Диаметр колонии гриба на 7-е сутки был выше, чем в контроле на 57%. Хорошие результаты по росту и развитию мицелия изучаемого гриба отмечали на питательной среде с добавлением зоогумуса в концентрации 40%, диаметр колонии гриба был на 51% больше, чем в контроле. При изучении роста мицелия с добавлением раствора зоогумуса в концентрации 70% его развитие замедлилось на 11% по сравнению с контролем, возможно, это связано с избыточной концентрацией элементов, оказывающих ингибирующее действие на развитие мицелия, что показывает необходимость дальнейших исследований в данном направлении.

Следующий этап исследования заключался в проведении исследования по изучению скорости роста мицелия гриба *P. ostreatus* на различных питательных субстратах: зерно пшеницы (З) контроль; опилки лиственных пород деревьев (ОПЛ); опилки лиственных пород с добавлением 1%, 10%, 40%, 70%, 100% растворов зоогумуса (ОПЛ+ЗГ1%, ОПЛ+ЗГ10%, ОПЛ+ЗГ40%, ОПЛ+ЗГ70%, ОПЛ+ЗГ100%). Результаты опыта представлены в таблице 17.

Таблица 17. Изучение скорости роста мицелия *P. ostreatus* на различных питательных субстратах

№	Питательная среда	3 сутки, мм	5 сутки, мм	7 сутки, мм	%, к контролю
1	Зерно (контроль)	11,8±0,86	60,8±3,17	76,8±3,87	100
2	ОПЛ	6,3±0,56	30,3±2,26	48,2±2,96	63
6	ОПЛ+ЗГ 1%	6,2±0,56	36,7±2,66	54,7±3,46	71
7	ОПЛ +ЗГ 10%	14,2±0,86	73,8±3,76	84,3±5,37	110
8	ОПЛ +ЗГ 40%	11,2±0,96	63,9±3,24	82,8±4,66	108
	ОПЛ +ЗГ 70%	8,7±0,56	28,8±2,12	44,6±3,17	58
9	ОПЛ +ЗГ 100%	8,8±0,57	29,2±2,16	35,8±2,97	47

Как видно из таблицы хороший результат роста мицелия гриба *P. ostreatus* был показан на субстрате на основе опилок лиственных пород деревьев с добавлением 10% и 40% раствора зоогумуса, линейный рост мицелия был на 10% и 8% выше, чем в контроле. Медленнее всего мицелий рос на субстрате из опилок (63% по отношению к контролю), опилок с добавлением 70% и 100% раствора зоогумуса, рост мицелия в этих вариантах был 58% и 47% в сравнение с ростом в контроле, видимо, повышение концентрации зоогумуса в субстрате до 70-100% оказывало ингибирующее действие на рост мицелия гриба *P. ostreatus*, а слабый рост на древесных опилках связан с недостаточной питательной ценностью субстрата. Что касается контроля, стерилизованное зерно пшеницы считается эталонным субстратом для выращивания мицелия многих видов съедобных грибов, поэтому, даже незначительное превышение роста мицелия по сравнению с зерном является хорошим результатом. Кроме того, зерно имеет определенную цену, у опилок, и зоогумуса цена значительно меньше.

Проведенными исследованиями выявлена возможность культивирования мицелия *P. ostreatus* на питательных средах с добавлением зоогумуса. При добавлении зоогумуса 10% и 40% к субстратам на основе опилок процент скорости роста мицелия в отличие от контроля был выше на 10% и 8% соответственно.

Изучение скорости роста мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* на различных питательных субстратах проводили в динамике. Замеры линейного роста мицелия делали на 3, 5, 7 сутки. Результаты представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Изучение скорости роста мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* на различных питательных субстратах

№	Питательный субстрат	3 сутки, мм	5 сутки, мм	7 сутки, мм	%, к контролю
1	Опилки	18,87±1,26	40,87±2,12	63,62±3,12	100
2	Оп+Лузга	20,62±1,41	47,75±2,78	73,12±4,41	115
3	Оп+Др	24,12±1,83	58,25±3,07	81,37±4,55	128
4	Оп+ЗГ 10%	25,12±1,84	61,37±3,12	83,5±4,28	131

Для выращивания мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* использовали питательные субстраты следующего состава: древесные опилки без добавок (Оп) (контроль); древесные опилки с добавлением сухой массы зоогумуса (ЗГ) в концентрации 10% (Оп+ЗГ 10%), древесные опилки с добавлением зерновой пивной дробины (Оп+Др), смесь древесных опилок (50%) и лузги семян подсолнечника (50%). В варианте с добавлением зоогумуса в

количестве 10% рост мицелия был выше, чем в контроле на 31% (рис. 14). В результате можно сделать вывод, что зоогумус в концентрации 10% повышает питательную ценность субстрата и является перспективной органической добавкой для выращивания мицелия гриба *Pleurotus ostreatus*.



Рисунок 14 – Рост мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* на 7 сутки культивирования на питательном субстрате с добавлением зоогумуса в количестве 10%.

Для расширения спектра видов съедобных грибов использовали гриб *Lentinula edodes* (шиитаке), который обитает главным образом в тропических и субтропических регионах Северной и Южной Америки, Азии и Австралии и питается сухостоем широколиственных деревьев. В настоящее время гриб шиитаке является одним из наиболее культивируемых в мире.

В опыте по изучению на роста мицелия гриба *Lentinula edodes* использовали питательные субстраты следующего состава: зерно пшеницы (З) контроль; опилки лиственных пород деревьев (ОПЛ); опилки лиственных пород с добавлением 50% и 100% зоогумуса (ОПЛ+ ЗГ50% , ОПЛ+ЗГ100%); солома злаковых культур (С); солома злаковых культур с добавлением 50% и 100% зоогумуса (С+ЗГ50% и С+ЗГ100%). Результаты изучения роста мицелия гриба *L. edodes* на различных питательных субстратах приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Изучения роста мицелия гриба *L. edodes* на различных питательных субстратах

№	Субстрат	3 сутки, см	5 сутки, см	7 сутки, см	% к контролю
1	З (Контроль)	2,5 ± 0,18	6,1 ± 0,54	11,4 ± 0,89	100%
2	ОПЛ	1,3 ± 0,12	4,5 ± 0,28	8,0 ± 0,57	70%
3	ОПЛ+ ЗГ 50%	3,4 ± 0,32	7,5 ± 0,57	13,4 ± 1,12	118%
4	ОПЛ+ ЗГ 100%	2,7 ± 0,21	5,7 ± 0,50	10,9 ± 0,69	96%
5	С	0,9 ± 0,05	3,2 ± 0,28	5,6 ± 0,55	49%
6	С+ЗГ 50%	4,1 ± 0,36	8,3 ± 0,57	12,1 ± 0,55	106%
7	С+ЗГ 100%	2,2 ± 0,21	5,4 ± 0,42	8,9 ± 0,57	78%

В результате проведения опыта удалось установить, что для выращивания посевного материала – мицелия гриба *L. edodes* подходят субстраты на основе опилок с добавлением 50% раствора зоогумуса, рост был на 18% выше, чем в контроле. Также хороший результат был показан на субстрате на основе соломы с добавлением 50% раствора зоогумуса (скорость роста мицелия на 6% выше, чем в контроле) Медленнее всего мицелий рос на субстрате из соломы злаковых культур и опилках лиственных пород деревьев, видимо, это связано с недостаточной питательной ценностью субстратов. Повышение концентрации зоогумуса в субстрате до 100% оказывало ингибирующее действие на рост мицелия гриба *L. edodes*.

Вид гриба *Lentinus tigrinus* (пилолистник тигровый) съедобный базидиомицет с кожистой мякотью, сильным ароматом и вкусом, которые делают его пригодным для употребления в пищу. В нем содержится большое количество белков, углеводов и минералов. Он также обладает антиоксидантными свойствами и антибактериальной активностью. Однако искусственное выращивание гриба *L. tigrinus* встречается нечасто, так как оптимизация условий его культивирования требует дополнительных исследований и доработки. В опыте по изучению роста мицелия гриба *L. tigrinus* использовали следующие питательные субстраты: зерно пшеницы (З) контроль; опилки лиственных пород деревьев (ОПЛ); опилки лиственных пород с добавлением 50% и 100% зоогумуса (ОПЛ+ ЗГ50% , ОПЛ+ЗГ100%); солома злаковых культур (С); солома злаковых культур с добавлением 50% и 100% зоогумуса (С+ЗГ50% и С+ЗГ100%). Результаты изучения роста мицелия гриба *L. tigrinus* на различных питательных субстратах приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Изучения роста мицелия гриба *L. tigrinus* на различных питательных субстратах

№	Питательная среда	3 сутки, см	5 сутки, , см	7 сутки, см	% к контролю
1	З(К)	3,7 ± 0,25	6,7 ± 0,51	10,3 ± 0,75	100%
2	ОПЛ	2,3 ± 0,16	5,8 ± 0,42	9,2 ± 1,07	89%
3	ОПЛ+ ЗГ 50%	4,8 ± 0,41	8,9 ± 0,41	14,2 ± 0,50	138%
4	ОПЛ+ ЗГ 100%	2,75 ± 0,21	5,75 ± 0,50	10,9 ± 0,69	106%
5	С	1,3 ± 0,11	3,2 ± 0,27	7,1 ± 0,41	69%
6	С+ЗГ 50%	4,6 ± 0,41	7,7 ± 0,41	12,8 ± 0,86	124%
7	С+ЗГ 100%	2,7 ± 0,17	5,1 ± 0,27	9,5 ± 0,55	92%

В результате удалось установить, что для выращивания мицелия гриба *L. tigrinus* подходят субстраты на основе опилок с добавлением 50% раствора зоогумуса (рост мицелия на 38% выше, чем в контроле) и на субстрате на основе соломы с добавлением 50% раствора зоогумуса, где скорость роста мицелия была выше на 24% по сравнению с контролем. Из чего вывод, что зоогумус, продукт жизнедеятельности насекомого *H. illucens*, может быть использован для культивирования мицелия грибов *L. edodes*, *L. tigrinus* и *P. ostreatus*, что открывает новые возможности в применении зоогумуса для получения нового, актуального и высокотехнологичного продукта – мицелия съедобных грибов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Насекомое *Hermetia illucens* (черная львинка) проходит полный жизненный цикл метаморфоза, включающий яйцо, личинку, куколку и взрослую стадию развития (имаго). Основными факторами, влияющими на развитие личинок черной львинки, предназначенных для утилизации органических отходов и получения биомассы, являются плотность популяции, состав корма, температура, влажность. Личиночная стадия – это единственная стадия, во время которой черная львинка питается. В это время она утилизирует органические отходы, растет, нарабатывает биомассу, производит белок и жир. Именно эта стадия развития имеет производственное и экономическое значение.

Одним из важных факторов при переработке органических отходов является плотность популяции личинок насекомого *Hermetia illucens*, от этого параметра зависит как скорость переработки субстрата, так и наработка биомассы личинок. Изучение влияния плотности популяции на переработку органических отходов и наработку биомассы личинок насекомого *Hermetia illucens* показало, что наилучшая плотность популяции личинок, при культивировании стандартных контейнерах размером 60x40x23 см (площадь 240 см²) составляет 7000 шт. (29,2 шт/см²).

Изучение влияния площади контейнеров на наработку биомассы личинок показало, что лучше использовать контейнеры площадью 240 см² при плотности популяции 29,2 шт/см². Средняя биомасса 100 шт. личинок при выращивании на комбикорме составляет 30,5 г, на мясных отходах – 28,9 г, на растительных отходах – 31,1 г. Следует учитывать, что в производственных условиях контейнеры размером больше чем 60x40x23 см менее удобны для перемещения и технологических операций.

Изучение состава корма на наработку биомассы личинками черной львинки показало, что наилучшим субстратом являются дробленые семечки подсолнуха (СПД), средняя масса 100 личинок составляла 30,7 г, при применении пищевых хлебных отходов – 30,1 г, зерна плющенного с добавлением СПД – 29,9 г, зерна дробленого и муки – 28,9 г, муки с добавлением СПД – 28,0 г, растительных отходов – 27,4 г. Таким образом, лучшим кормом для личинок являются отходы, богатые растительным белком и углеводами.

Изучение конверсии субстратов показало, что наиболее полно перерабатываются пищевые хлебные отходы, конверсия субстрата составляла 101 %, при использовании растительных отходов – 87%, а при использовании дробленых семечек подсолнечника 86%, следует отметить, что и остальные субстраты, изучавшиеся в опыте, показали высокий процент конверсии.

Изучение динамики накопления биомассы личинками черной львинки показало, что наиболее интенсивно она происходит в первые 9-ть суток выращивания и значительно снижается к 12-м суткам культивирования. Поэтому, для оптимизации производственного

цикла необходимо стремиться к сокращению времени личиночной стадии, необходимо заканчивать откорм личинок к моменту прекращения активного роста (на 9-10 сутки), это позволит получать больше биомассы личинок в единицу времени.

Изучение соотношения живой и сушеной биомассы личинок показало, что максимальная масса живых личинок на 12 сутки культивирования была на субстрате с использованием дробленых семечек подсолнуха (СПД), масса живых личинок составляла 122,8 г, а высушенных личинок 43,6 г, на субстратах с плющенным зерном и СПД (живые – 119,6 г, сушеные – 42,1 г), пищевых (хлебных) отходах (живые – 116,8 г, сушеные – 48,4 г), дробленом зерне с мукой (живые – 115,6 г, сушеные – 41,6 г). Это связано с тем, что зерновые отходы содержат большое количество белка и углеводов и легко перерабатываются личинками.

Одним из важных факторов, влияющих на рост и развитие личинок насекомого *Hmetia illucens*, является температура. Личинки черной львинки могут жить в широком диапазоне температур, но для производственных целей необходимо выяснить наилучшие параметры. В опыте по уточнению влияния температуры на утилизацию органических субстратов и наработку биомассы личинками насекомого *Hmetia illucens* изучали температуры 19°C, 23°C и 27°C. Было установлено, что наработка биомассы личинками черной львинки имеет практически линейную зависимость и пропорциональна распределено во времени, что имеет практическое значение, наилучшей для развития личинок черной львинки является температура 23°C. При этой температуре личинки образовывали плотные скопления, внутри скоплений температура повышалась до 36-38°C, в таких скоплениях постоянно происходило движение и активное поедание корма. При температуре 19°C личинки развивались несколько медленнее и были распределены неравномерно в контейнере, а при температуре 27°C были активны, но стремились уползти из контейнера, а не нарабатывать биомассу.

Изучение влияния влажности воздуха в откормочном помещении инсектария показало, что при влажности 30%, 40% и 50% существенной разницы в наработке биомассы на разных субстратах не обнаружено. Это связано с тем, что, согласно разрабатываемой технологии, каждый день осуществляется подкормка субстратом в количестве 1 кг, который имеет влажность 80%, а в случае с кисломолочными отходами – 100% , то есть, влажность воздуха в 30%, 40% и 50% не влияет на изменение влажности субстрата, субстрат не успевает подсохнуть. Поэтому возможно культивировать личинки черной львинки в диапазоне 30-50% влажности воздуха, наилучшей считается влажность воздуха в 40%.

Таким образом, разработан способ культивирования насекомого *Hermetia illucens* (черная львинка) в контейнерах и определены наилучшие условия для наработки биомассы личинок.

Разработанный метод индивидуального скрещивания позволил проследить развитие популяции мух, полученной от одной самки и одного самца и рассмотреть происходящие закономерности и изменения в 6 поколениях в 3-х популяциях (Истра, Тула, Воронеж). Подтверждена гипотеза о вырождении популяций мух при близкородственном скрещивании. Это связано с тем, что проявляют свое действие летальные гены. Последующие отборы в каждом поколении самых крупных и активных личинок позволяют создать популяцию, лишенную большинства летальных и вредных генов, что даст возможность приступить к межпопуляционному скрещиванию и получить гетерозисный эффект при скрещивании чистых линий мух из разных популяций.

Изучение распределения личинок по размеру (массе) в популяции показало, что крупные личинки составляют 15%, мелкие личинки 25%, а личинки среднего размера 60%. Такое распределение может осуществляться в рамках нормы реакции организма, или быть обусловлено генетическими особенностями. В любом случае, это свидетельствует о целесообразности отбора по размерам и биомассе личинок с последующим закреплением этих признаков в потомстве для использования полученных популяций в производственных условиях.

Изучение влияния состава корма на белково-липидный состав личинок насекомого *Hermetia illucens* позволяет оптимизировать процесс получения белкового концентрата и жира и отбирать наиболее активные линии мух. При выращивании личинок на специально подобранном субстрате повышается эффективность получения хозяйственно ценных продуктов, в зависимости от заданной цели. При культивировании личинок на субстратах с повышенным содержанием белка (отходы мясного и рыбного производства, а также ферментированный навоз), белковый показатель в личинках будет выше, чем липидный. Если выращивать личинки чёрной львинки на субстратах с высоким содержанием углеводов (некондиционные фрукты и овощи, хлеб и т.д.), то липидный показатель в составе личинок будет выше, чем белковый. Этот факт позволяет вести отбор популяций мух, ориентированных на производство белка или жира и приуроченных к определенным субстратам.

Жир насекомого черная львинка в настоящее время практически не используется в народном хозяйстве, он является побочным продуктом при производстве белкового концентрата, который применяют в качестве добавки в корма животным. Однако этот жир имеет состав сходный с кокосовым маслом, которое активно применяется в производстве косметических средств. Поэтому использование жира для получения уходовых

косметических средств является актуальным, так как расширяет линейку новых полезных продуктов с заданными свойствами. Разработанная и апробированная методика переработки жира личинок насекомого черной львинки позволила получить два новых продукта: масло черной львинки и скраб с добавлением молотого кофе. Проведено испытание разработанных продуктов на соответствие их ГОСТам. Аккредитованной испытательной лабораторией «LIGHT GROUP» установлено, что жир личинок насекомого *Hermetia illucens* соответствует ГОСТ Р, является безопасным и качественным сырьём для изготовления органических уходовых косметических средств. Косметическая продукция, произведённая из жира личинок черной львинки, не обладает раздражающим кожу действием, не содержит токсичных веществ и патогенной микрофлоры, способствует заживлению микротрещин, обладает антиоксидантными и увлажняющими свойствами, которые помогают предотвратить раннее старение кожи. В настоящее время результаты испытаний переданы в уполномоченный орган по сертификации продукции ООО "Эксперт-С" для получения сертификата соответствия.

Побочным продуктом переработки органических отходов личинками насекомого *Hermetia illucens* является зоогумус, который обычно используют как органическое удобрение. Применение зоогумуса для получения и производства мицелия съедобных грибов позволяет использовать его в качестве полезного продукта с заданными свойствами, что открывает новые возможности и значительно расширяет спектр применения зоогумуса. Показано, что зоогумус в концентрации 10-40% является перспективной добавкой к питательным средам и субстратам для культивирования мицелия съедобных грибов *Pleurotus ostreatus* (вешенка обыкновенная), *Lentinula edodes* (шиитаке), *Lentinus tigrinus* (пилолистник тигровый), что является новым направлением в использовании зоогумуса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правительство Российской Федерации. Распоряжения. О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 25 января 2017 г. N 79-р: Распоряжение Правительства РФ от 10 октября 2023 г. N 2761-р: [принят Председателем Правительства Российской Федерации 10 октября 2023 года]. - URL: <http://pravo.gov.ru/> (дата обращения: 20.10.2023)
2. Указ Президента Российской Федерации N 204 от 7 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/> (дата обращения: 18.12.2022)
3. Антонов А. М., Lutovinovas E., Иванов Г. А., Пастухова Н. О. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумполярном регионе // Принципы экологии. - 2017. - № 3. - С. 4–19. DOI: 10.15393/j1.art.2017.6302.
4. Бастраков А.И., Донцов А.Е., Ушакова Н.А. Муха черная львинка *Hermetia illucens* в условиях искусственного разведения – возобновляемый источник меланинхитозанового комплекса // Известия уфимского научного центра РАН. - 2016. - № 4. - С. 77–79.
5. Волчкова Д.С., Михалёв Е.В. Получение личинок мухи чёрная львинка и их использование как кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции. - Йошкар-Ола: Изд-во МарГУ. - 2022. - С. 300-305.
6. Лихота, В.Ю. Перспективы выращивания и использования черной львинки (*Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)) в аквакультуре / В.Ю. Лихота // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси : материалы XVI международной молодежной научно-практической конференции, Пинск, 15 апреля 2022 г. : в 2-х ч. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.] ; редкол.: В.И. Дунай [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2022. – Ч. 2. – С. 49-50.
7. Логвиненко И.С. Решение проблемы белкового дефицита путем производства белка из насекомых // Материалы V международного молодежного экологического форума. - 2021. - С. 103 - 106.
8. Лящев А.А., Прок И.А., Коваль Е.В., Валов Н.А., Лящева Л.В. Переработка куриного помета личинками черной львинки (*Hermetia illucens* L.) в условиях северного зауралья // Международный научно-исследовательский журнал. - 2022. - Т. 125. - № 11. - С. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.118>.

9. Некрасов Р. В., Зеленченкова А. А., Чабаев М. Г., Ушакова Н. А. Меланиновая белково-энергетическая добавка из личинок *Hermetia illucens* в питании телят // Сельскохозяйственная биология, 2018. – Т. 53. – № 2. – С. 374-384.
10. Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М., Святченко А.В. Использование зоокомпоста культивирования личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) при выращивании огурцов // Вестник аграрной науки. - 2021. - Т. 88. - № 1. - С. 56-62.
11. Песцов Г.В., Третьякова А.В., Прокудина О.В. Экологически безопасная утилизация отходов сельского хозяйства с использованием насекомого вида *Hermetia illucens* // Биосфера. - 2022. - Т. 14.- № 4. - С. 362-364. DOI: 10.24855/biosfera.v14i4.696.
12. Песцов Г.В., Мягкова А.С., Третьякова А.В., Прокудина О.В., Воронцов В.С. Разработка элементов технологии выращивания мицелия грибов *Pleurotus ostreatus* и *Lentinula edodes* на различных питательных субстратах // Всероссийская конференция с международным участием и элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология - 2023». 23 - 24 ноября 2023 г. : материалы конференции / под ред. канд. хим. наук В.А. Алфорова. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2023. - С. 69-70. ISBN 978-5-7679-5305-9.
13. Песцов Г.В., Третьякова А.В., Прокудина О.В. Изучение влияния зоогумуса на рост и развитие съедобного гриба *Pleurotus ostreatus* (вешенка) // Биосфера. - 2022. - Т. 14. - №4. - С. 358-360. ISSN: 2077-1371.
14. Плотникова Е.Ю., Синькова М.Н., Исаков Л.К. Роль ненасыщенных кислот омега-3 в профилактике и лечении различных заболеваний (часть 1) // Лечащий врач. - 2018. - Т. 7. - № 7. - С. 63. ISSN 1560-5175.
15. 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. - 2015. - С. 147–149.
16. Ушакова Н. А., Пономарев С. В., Федоровых Ю.В. , Бастраков А. И., Павлов Д. С. Физиологические основы питательной ценности концентрата личинок *Hermetia illucens* в рационе рыб // Известия РАН. Серия биологическая. - 2020. - № 3. - С. 293–300.
17. Ушакова Н.А., Бродский Е.С., Коваленко А.А., Бастраков А.И., Козлова А.А., Павлов Д.С. Особенности липидной фракции личинок Черной львинки *Hermetia illucens* // Докл. РАН. - 2016. - Т. 468. - № 4. - С. 462–465.
18. Benzertiha A., Kierończyk B., Rawski M., Mikołajczak Z. Insect Fat in Animal Nutrition – A Review // ResearchGate. 2020, P. 1-46. DOI:10.2478/aoas-2020-0076/. (14. т.)
19. E. De Stefani , P. Boffetta, A.L. Ronco, P. Brennan, H. Deneo-Pellegrini, J. C. Carzoglio, M. Mendilaharsu. Plant sterols and risk of stomach cancer: a case-control study in

Uruguay // Nutrition and Cancer. - 2000. - Vol. 37. - №. 2. - P. 1-4. DOI: 10.1207/S15327914NC372_4.

20. Nor Fatin Najihah Mohamad Zulkifli, Annita Yong Seok-Kian, Lim Leong Seng, Saleem Mustafa, Yang-Su Kim, Rossita ShapawiI. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods // PLOS ONE. - 2022. - Vol. 17. - №. 2. - P. 1-14. DOI:10.1371/journal.pone.0263924.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Сведения о РИД и публикациях результатов НИР

1. Песцов Г.В. Изучение белково-липидного состава личинок насекомого черная львинка / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых – Тула: Изд-во АНО ДПО «Высшая техническая школа», 2023, С. 60-66.

ISSN 978-5 6049447-0-7.

2. Песцов Г.В. Использование зоогумуса в грибоводстве / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых – Тула: Изд-во АНО ДПО «Высшая техническая школа», 2023, С. 67-70. ISSN 978-5 6049447-0-7.

3. Песцов Г.В. Получение полезных продуктов из личинок насекомого *Hermetia illucens* / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова, А.С. Мягкова, С.А. Бутенко // Всероссийская конференция с международным участием и элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология - 2023». 23 - 24 ноября 2023 г. : материалы конференции / под ред. канд. хим. наук В.А. Алферова. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2023. - С. 67-68. ISBN 978-5-7679-5305-9

4. Песцов Г.В. Биологическая утилизация древесных отходов с помощью штаммов гриба *Pleurotus ostreatus* / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова, А.С. Мягкова, В.С. Воронцов, М.Б. Каримов, Л.Г. Мухторов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2023. № 3. – С. 184-193. ISSN: 2413-452X

5. Песцов Г.В. Выращивание мицелия грибов *Lentinula edodes* и *Lentinus tigrinus* на различных питательных средах и субстратах / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова, А.С. Мягкова, В.С. Воронцов, М.Б. Каримов, Л.Г. Мухторов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2023. № 3. – С. 203-211. ISSN: 2413-452X

6. Песцов Г.В. Использование липидов *Hermetia Illucens* для получения косметических средств / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова, А.С. Мягкова, А.С. Бутенко, М.Б. Каримов, Л.Г. Мухторов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2023. № 4. – С. 117-127. ISSN: 2413-452X

7. Песцов Г.В. Использование зоогумуса в качестве добавки при культивировании мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова, А.С. Мягкова, В.С. Воронцов // Приднепровский научный вестник. 2023. Т. 11. № 2. С. 7-11. ISSN: 1561-6940

8. Песцов Г.В. Изучение органолептических свойств жира личинок *Hermetia illucens* на различных кормовых субстратах / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова // Проблемы научной мысли. 2023. Т. 11. № 1. С. 3-6. eISSN: 1561-6916

9. Песцов Г.В. Изучение роста мицелия гриба *Agaricus bisporus* на питательных средах различного состава / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова // Проблемы научной мысли. 2023. Т. 11. № 3. С. 7-9. eISSN: 1561-6916

10. Песцов Г.В. Зоогумус как органическая добавка к субстратам при культивировании гриба *Pleurotus ostreatus* / Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.В. Третьякова, А.С. Мягкова, В.С. Воронцов // Проблемы научной мысли. 2023. Т. 12. № 2. С. 9-12. eISSN: 1561-6916

11. Заявка на патент на изобретение «Способ получения скраба из липидов *Hermetia illucens* и молотого кофе», авторы: Третьякова А.В., Песцов Г.В., Прокудина О.В., № 2023113162 от 22.05.2023.