

Раздел 1. Региональные проблемы природопользования

УДК 504.062.2

DOI 10.37279/2519-4453-2020-4-5-9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАСЕКОМЫХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ – ПУТЬ К РАЦИОНАЛЬНОМУ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЮ

Сапронова Ж.А.¹, Свергузова С.В.¹, Шайхиев И.Г.², Святченко А.В.¹

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, e-mail: pe@intbel.ru

²Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68, e-mail: ildars@inbox.ru

Аннотация: Исследование и разработка технологий разведения, выращивания и использования насекомых является важной задачей современного народного хозяйства, решение которой может снизить нагрузку на природные экосистемы. Муха «Черная львинка» (*Hermetia illucens*) является очень перспективным биологическим видом, который позволяет получить следующие типы продукции: биомасса личинок мухи «Черная львинка» (*Hermetia illucens*), которая может быть переработана на животный белок (протеиновую муку) и липидный концентрат (масло); зоокомпост, получающийся после отделения личинок мухи «Черная львинка» (*Hermetia illucens*). Благодаря своим эволюционно выработанным механизмам выживания в химически и бактериологически агрессивной среде, личинки мухи *Hermetia illucens* способны успешно переносить и нейтрализовать многие токсичные компоненты субстрата, что является важным фактором при их разведении и использовании для переработки отходов.

Ключевые слова: *Hermetia illucens*; разведение насекомых, переработка отходов, протеиновая мука, липидный концентрат

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы природопользования охватывают множество проблем, возникающих в ходе человеческой деятельности. Одним из важнейших является дефицит пищевых продуктов и сельскохозяйственных кормов. В условиях постоянного роста населения планеты сельское хозяйство оказывает все большее воздействие на природные ресурсы, что выражается в увеличении площадей посевов и построек, сбросах, выбросах в окружающую среду, образовании больших количеств отходов [1-6].

Цели и принципы устойчивого развития, также известные как Глобальные цели, принятые ООН, направлены, в том числе и на решение важнейших проблем природопользования: сохранение водных ресурсов, рациональное и бережное использование природных экосистем, а также ликвидацию голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, содействие устойчивому ведению сельского хозяйства устойчивых систем производства продуктов питания и устойчивых методов ведения сельского хозяйства, генетического разнообразия семян, культурных растений, сельскохозяйственных и домашних животных [7].

Поэтому поиски путей более полного и рационального использования питательных веществ в природе и разработка способов переработки отходов являются актуальными задачами природопользования.

Возможность использования насекомых в сельском хозяйстве известна давно. Насекомые пригодны для скормливания сельскохозяйственной птице и рыбе в аквахозяйствах, из них можно получать питательные экстракты, некоторые виды насекомых пригодны к употреблению в пищу человеком. Кроме того, многие насекомые способны перерабатывать пищевые и сельскохозяйственные отходы. В связи с этим исследование и разработка технологий разведения, выращивания и использования насекомых является важной задачей современного народного хозяйства, решение которой может снизить нагрузку на природные экосистемы.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Муха «Черная львинка» (*Hermetia illucens*) является очень перспективным биологическим видом, который позволяет получить следующие типы продукции:

- Биомасса личинок мухи «Черная львинка» (*Hermetia illucens*), которая может быть переработана на животный белок (протеиновую муку) и липидный концентрат (масло).

- зоокомпост, остающийся после отделения личинок мухи «Черная львинка» (*Hermetia illucens*).

Получаемый животный белок (протеиновая мука) предназначен для введения в комбикорма и экструдированные корма в качестве источника белка для аквакультуры, сельскохозяйственных и непродуктивных (домашних) животных, по причине схожести ее аминокислотного состава с животным протеином (рыбной муки), наличии функциональных свойств и структурно-

формообразующих возможностей при использовании технологий экстрезии. Ее можно использовать в качестве единственного источника протеина в комбикормах.

Липидный концентрат предназначен как добавка в комбикорма для аквакультуры и непродуктивных (домашних) животных. Уникальный состав жирных кислот делает его отличной устойчивой альтернативой используемым растительным маслам и животным жирам. Высокая доля жирных кислот средней цепи, естественным образом присутствующих в маслах насекомых, обеспечивает рыб и животных легко усваиваемым источником энергии, что особенно важно для молодых животных, подверженных большому внешнему стрессу.

Личинки *H. illucens* – полифаги и могут питаться субстратами растительного и животного происхождения: овощами и фруктами, мясом, рыбой и отходами их переработки, компостом, навозом млекопитающих и птиц, бытовыми органическими отходами и осадком сточных вод [8-10]. Обязательным условием стабильного функционирования предприятия по промышленному разведению *H. illucens* является оптимальный состав корма для личинок мух. Основным сырьем для приготовления корма для личинок мух, которые выращиваются для кормления сельскохозяйственных животных, являются компоненты растительного происхождения. При производстве и хранении продукции растениеводства широко используются пестициды, в том числе инсектициды широкого спектра действия. Остаточные количества пестицидов присутствуют в значительной доле образцов продуктов растениеводства [11], поэтому насекомые, которые будут вскармливаться на таком субстрате, должны быть устойчивы к этим токсикантам.

При массовом разведении насекомых существует значительный риск их заражения инфекционными болезнями. Отмечено не менее 1000 видов грибов, которые могут вызывать летальные заболевания у насекомых и других беспозвоночных. Возбудители болезней могут распространяться с субстратами различного происхождения [12]. Болезни насекомых также вызывают бактерии [13] и вирусы. Эпизоотии в произведенных популяциях приводят к снижению продуктивности или гибели насекомых, и, следовательно, к значительному экономическому ущербу, поэтому одной из задач биотестов кормов является выявление партий сырья, содержащих патогенную для насекомых микрофлору. Контроль качества растительных компонентов кормов для мух – сложная задача, методика решения которой до настоящего времени недостаточно разработана.

Благодаря своим эволюционно выработанным механизмам выживания в химически и бактериологически агрессивной среде, личинки мухи *Hermetia illucens* способны успешно переносить и нейтрализовывать многие токсичные компоненты субстрата, что является важным фактором при их разведении и использовании для переработки отходов.

Известно, что личинки ЧЛ способны переносить высокие уровни микотоксинов, часто присутствующих в гниющих отходах, как по отдельности, так и в смеси без снижения общего уровня выживаемости и скорости роста.

Афлатоксины представляют собой группу микотоксинов, которые в основном вырабатываются плесенью *Aspergillus flavus* и *Aspergillus parasiticus*. Четырьмя основными афлатоксинами являются В1, В2, G1 и G2, которые можно найти в различных пищевых продуктах, таких как арахис и кукуруза. Афлатоксины канцерогенны для человека и представляют собой серьезную проблему для экономики и здоровья во всем мире. Установлено, что личинки *Hermetia illucens* имеют высокую устойчивость к афлатоксину В1 в количестве до 0,5 мг/кг сухого корма и не накапливают его в тканях [14-16].

В отходах птице- и животноводства часто встречаются антибиотики. В работе [17] установлено, что личинки *H. Illucens* могут без вреда для себя переносить концентрации сульфонида до 1 мг/кг в субстрате.

Изучалась степень кумуляции Cd, Pb и Zn на развитие личинок и куколок мухи «Черная львинка». Названные металлы добавлялись в субстрат, в качестве которого использовался корм для кур. Выявлено, что фактор накопления кадмия в куколках (концентрация металла в организме, деленная на концентрацию металла в питание) варьировался от 2,32 до 2,94. Коэффициент биоаккумуляции цинка у куколок мухи снижался с уменьшением концентрации цинка в корме с 0,97 до 0,39. Применительно к свинцу выявлено, что его концентрация в личинках и куколках мух оставалась значительно ниже его начальной концентрации в корме. Авторами сделан вывод, что ни один из трех элементов тяжелых металлов не оказал существенного влияния на детерминанты жизненного цикла (вес куколок, время развития, соотношение полов) личинок *H. illucens* [16, 18].

При сравнительном исследовании аккумуляции кадмия, свинца, ртути и мышьяка, содержащихся в морских водорослях, наибольшая интенсивность накопления наблюдалась для кадмия (до 93%), а самая низкая – для мышьяка (до 22%). Исходя из результатов исследований,

допустимо использование в качестве кормового субстрата водоросли *A. nodosum* в количестве до 50% [19].

Известны исследования влияния наличия питательных веществ в корме на развитие личинки мухи *Hermetia illucens*. Насекомые выращивались на субстратах с их низким, средним и высоким содержанием. Также определялось влияние плотности особей на единицу площади (50, 100, 200 или 400 особей 1 контейнере) на показатели развития. В ходе проведения экспериментов найдено, что содержание жира в личинках было выше при культивировании последних на рационах с более высокой концентрацией питательных веществ и при более низкой плотности личинок. В тоже время, определено, что содержание сырого белка личинок было выше при более низкой плотности заселения личинок на единицу площади. У личинок содержание жира было выше в экспериментах с высокой концентрацией личинок и питательных веществ. Проведенные исследования показывают, что содержание белка в личинках мухи «Черная львинка» регулируется в узких пределах, в то время как содержание жира в личинках сильно зависит от концентрации питательных веществ и от плотности заселенности личинок [20].

Установлено, что pH субстрата мало влияет на весовые характеристики личинок при времени культивирования в течение 10 суток. Выявлено, что независимо от начального значения pH субстрата, в результате жизнедеятельности изучаемый параметр имеет конечное значение pH ~ 9 [21].

Влажность является крайне важным фактором при культивировании *Hermetia illucens*, как личинок, так и взрослых особей, сообщается, что влажность играла даже более важную роль, чем сбалансированная диета, при выращивании насекомых в исследовании [22].

Влажность в 70% в увеличивает продолжительность жизни взрослых особей в сравнении с насекомыми, содержащимися в сухих условиях [23].

В совместной работе ученых из Нидерландов и Кении [24] исследовалось влияние температуры и состава субстрата на развитие личинок мухи *Hermetia illucens*. Исследования проводились при выращивании личинок на двух субстратах: на измельченном зерне (диета 2) и с добавлением пивных дрожжей (диета 1) в интервале температур 10 – 42 °С.

В таблице 1 представлены данные о выживаемости личинок в зависимости от температуры среды и особенностей диеты.

Таблица 1
Процент выживаемости личинок и куколок в зависимости от температуры среды и диеты

Температура, °С	Яйца	Личинки		Перед окукливанием		Куколки	
		Диета1	Диета2	Диета1	Диета2	Диета1	Диета2
10	-	-	-	-	-	-	-
15	10,6	82,8	87,0	58,7	65,3	49,3	62,0
20	59,0	74,6	82,4	68,4	61,0	61,6	59,4
25	59,8	93,0	58,0	83,1	54,4	67,4	46,3
30	80,0	92,6	90,4	82,2	77,2	77,1	74,8
35	74,8	90,8	92,2	75,2	79,0	65,6	54,1
37	9,8	89,4	84,0	24,1	63,6	5,4	19,6
40	9,4	34,0	27,6	-	-	-	-

Предкуколки могут сохранять жизнеспособность до нескольких месяцев при температуре 10–15 °С. Если плотность личинок возрастает (15–50 шт./см²), температура субстрата также повышается (до 43 °С). Это не приводит к гибели личинок, напротив, подавляет значительное число патогенных организмов в субстрате.

Как показали результаты исследования, температура значительно влияет на созревание яиц. Определено, что нижний температурный порог развития личинок *Hermetia illucens* составляет 11 °С. Также найдено, что наиболее оптимальная температура, при которой достигается максимальная скорость прироста биомассы личинок (5,5 суток) составляет 30 °С. При этой температуре время жизни личинки до окукливания зависит от субстрата и составляет 16 суток при выращивании личинок на зерновой смеси и 13 суток – на смеси с добавлением пивных дрожжей.

ВЫВОДЫ

Использование насекомых в сельском хозяйстве видится неизбежным шагом в условиях необходимости повышения количества белково-жировой продукции и снижения количества образующихся отходов. Насекомое *Hermetia illucens* имеет природные механизмы, позволяющие личинкам выживать в агрессивных условиях окружающей среды – высокой бактериологической

нагрузки, присутствия токсинов, тяжелых металлов. Это качество очень ценно при использовании насекомых для переработки сельскохозяйственных и пищевых отходов. Сами личинки пригодны для изготовления протеиновой муки и липидного концентрата, который может быть использован в производстве кормов для сельскохозяйственной птицы и других видов культивируемых организмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-070 от 29.11.2019 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Субботина, Л.В. Экологические факторы устойчивого развития сельского хозяйства / Л.В. Субботина // Вестник Курганской ГСХА. – 2013. – №3 (7). – С. 4-8.
2. Saponova, Zh.A. Peculiar Properties of Temperature Modification of Carbonate Precipitate / Zh.A. Saponova, S. V. Sverguzova // Materials Science Forum., Trans Tech Publications, Ltd. – 2020. – vol. 989. – pp. 365–371.
3. Свергузова, С.В. Особенности взаимодействия эмульсии подсолнечного масла и сорбционного материала – термомодифицированного сатурационного осадка в присутствии СПАВ / С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, М.Н., М.Н., Спирин, И.Г. Шайхiev // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20, №20. – С. 60-63.
4. Спирин, М.Н. Очистка маслосодержащих сточных вод отходами производства сахара / М.Н. Спирин, С.В. Свергузова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 5. – С. 187-191.
5. Хунади, Л. Использование отходов переработки арахиса в качестве сорбционного материала / Л. Хунади, И.Г. Шайхiev, А.В. Святченко и др. // Chemical Bulletin. – 2018. – Т. 1, №4. – С. 40-49.
6. Свергузова, С.В. Адсорбции веретенного масла нативным и термомодифицированным листовым опадом каштанов / С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, А.В. Святченко, Т. Отити // Строительные материалы и изделия. – 2018. – Т. 1, №1. – С. 4 – 11
7. United Nations. Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017 – A/RES/71/313. – 25 р.
8. Антонов, А.М. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумполярном регионе / А.М. Антонов, Е. Lutovinovas, Г.А. Иванов, Н.О. Пастухова // Принципы экологии. – 2017. – № 3. – С. 4-19.
9. Caruso, D. Technical handbook of domestication and production of diptera black soldier fly (bsf) *Hermetia illucens*, Stratiomyidae / [D. Caruso, E. Devic, I.W. Subamia et al.] – PT Penerbit IPB Press, 2014. – 141 p.
10. Бахраков, А.И. Химический состав личинок черной львинки *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae) при выращивании на различных растительных субстратах / А.И. Бахраков, А.А. Загоринский, Н.А. Ушакова // Беспозвоночные животные в коллекциях зоопарков и инсектариев: VI Междунар. семинара: матер. – Московский зоопарк, г. Москва, (10-15 октября 2016 г.). – М.: ООО «КолорВитрум», 2017. – С. 51-55.
11. Лопатин, А.В. Оценка качества цветочной пыльцы, собранной медоносной пчелой, с использованием биотестов на рабочих особях земляного шмеля / А.В. Лопатин, М.Ю. Сыромятников // Природничий альманах. Біологічні науки. – 2013. – Т. 19. – С. 157–166.
12. Борисов, Б.А. Риски заражения микозными инфекциями беспозвоночных животных при массовом разведении / Б.А. Борисов // Беспозвоночные животные в коллекциях зоопарков и инсектариев: VI Междунар. семинара: матер. – Московский зоопарк, г. Москва (10-15 октября 2016 г.). – М.: ООО «КолорВитрум», 2017. – С. 83-88.
13. Грабович, М.Ю. Серациоз – одна из причин заболеваний шмелей при их искусственном разведении / М.Ю. Грабович, А.В. Лопатин, М.И. Попова и др. // Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов: Межрегион. сб. науч. работ. – Воронеж, 2010. – №. 12. – С. 72-79.
14. Meijer, N. Aflatoxin B1 conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval enzyme extracts / [N. Meijer, G. Stoopen, H.J. Fels-Klerx et al.] // Toxins – 2019. – Vol. 11. - Is. 9. – 11 p.
15. Bosch, G. Aflatoxin B1 tolerance and accumulation in black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) / G. Bosch, H. J. Fels-Klerx, Th. C. Rijk, D. G. Oonincx // Toxins – 2017. – Vol. 9. – Is. 6. – 10 p.
16. Schrogel, P. Insects for food and feed-safety aspects related to mycotoxins and metals / P. Schrogel, W. Watjen // Foods – 2019. – Vol. 8. – 28 p.
17. Gao, Q. Effect of sulfonamide pollution on the growth of manure management candidate *Hermetia illucens* / [Q. Gao, W. Deng, Z. Gao et al.] // Public Library of Science –2019. – Vol. 14. – Is. 5. – 12 p.

18. Diener, S. Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle / S. Diener, C. Zurbrügg, K. Tockner // *Journal of insects as food and feed* – 2015. – Vol. 1. – Is. 4. – P. 261–270.
19. Biancarosa, I. Uptake of heavy metals and arsenic in black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae grown on seaweed-enriched media / [I. Biancarosa, N.S. Liland, D. Biemans et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture* – 2018. – Vol. 98. – Is. 6. – P. 2176–2183.
20. Barragan-Fonseca, K. B. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) / K.B. Barragan-Fonseca, M. Dicke, J.J. Loon // *Entomologia experimentalis et applicata* – 2018. - No. 166. – P. 761–770.
21. Meneguz, M. Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larval development / M. Meneguz, L. Gasco, J.K. Tomberlin // *PLoS ONE*. – 2018. – Vol. 13. – No 8. – P. 020259.
22. Cammack, J.A. The impact of diet protein and carbohydrate on select life-history traits of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (diptera: stratiomyidae) / J.A. Cammack, J.K. Tomberlin // *Insects* – 2017. – Vol. 8 (56). – 14 p.
23. Holmes, L. A. Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (diptera: stratiomyidae) / L. A. Holmes, S. L. Vanlaerhoven, J.K. Tomberlin // *Environmental entomology* – 2012. – Vol. 41. – No. 4. – p. 971-978.
24. Chia, Sh. Y. Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production / [Sh. Y. Chia, Ch.M. Tanga, F. M. Khamis et al.] // *Plos one* – 2018. – No. 1. – 26 p.

THE USE OF INSECTS IN AGRICULTURE - A WAY TO ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Sapronova Zh.A.¹, Svergunsova S.V.¹, Shaikhiev I.G.², Svyatchenko A.V.¹

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov

²Kazan National Research Technological University

Abstract. Research and development of technologies for breeding, cultivation and use of insects is an important task of the modern national economy, the solution of which can reduce the technogenic load on natural ecosystems. The Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) is a very promising biological species that allows to obtain the following types of products: biomass of the Black Soldier fly (*Hermetia illucens*) fly larvae, which can be processed into animal protein (protein meal) and lipid concentrate (oil); zoo compost obtained after the separation of the Black Soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). Due to their evolutionarily developed mechanisms of surviving in a chemically and bacteriologically aggressive environment, the larvae of the *Hermetia illucens* fly are able to successfully endure and neutralize many toxic components of the substrate, which is an important factor in their breeding and use for waste processing.

Keywords: *Hermetia illucens*; insect breeding, waste processing, protein flour, lipid concentrate.