

**Биоутилизация органических отходов личинками мухи
Hermetia illucens и возможность применения образованного
зоокомпоста против фитонематод**

© 2021. Н. А. Ушакова¹, д. б. н., г. н. с., С. В. Зиновьева¹, д. б. н., г. н. с.,
Ж. В. Удалова^{1,2}, к. б. н., с. н. с., А. И. Бастраков¹, н. с., А. И. Бутенко¹, вед. инженер,

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН,

119071, Россия, г. Москва, Ленинский пр., д. 33,

²ВНИИП – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН,

117218, Россия, г. Москва, ул. Б. Черемушкинская, д. 28,

e-mail: naushakova@gmail.com

Личинки мухи чёрной львинки *Hermetia illucens* эффективно используют в качестве кормового субстрата фруктово-овощные смеси – отходы торговых сетей, в том числе, заражённые нематодами. Показано, что личинки способны с высокой скоростью утилизировать картофель (за 12 суток достигается 70% конверсия субстрата) и полностью элиминировать в поражённом корнеплоде как фитопатогенную картофельную нематоду *Ditylenchus destructor*, так и сапробиотическую нематоду *Rhabditis* spp., которые ухудшают товарные свойства картофеля и других корнеплодов при хранении. В контрольном субстрате без личинок чёрной львинки фитопатогенные нематоды за исследуемый период сохранились, а сапробиотические нематоды размножились. Внесение полученного из фруктово-овощных отходов зоокомпоста (экскрементов личинок с остатками непереваренного субстрата) в почвогрунт снижает заражённость томатов галловой нематодой *Meloidogyne incognita*. Показана перспективность использования зоокомпоста для стимуляции роста и развития растений, и особенно растений, страдающих от нематодной инвазии.

Ключевые слова: фруктово-овощные отходы, личинки, *Hermetia illucens*, биоутилизация, нематоды, *Ditylenchus destructor*, *Rhabditida*, *Meloidogyne incognita*, томаты.

**The biodisposal of organic waste by larvae
of the black soldier fly *Hermetia illucens* and the possibility
of using the formed zoocompost against phytonematodes**

© 2021. N. A. Ushakova¹ ORCID: 0000-0001-7914-1508, S. V. Zinovieva¹ ORCID: 0000-0002-0969-4569²

Zh. V. Udalova^{1,2} ORCID: 0000-0002-8254-4495, A. I. Bastrakov¹ ORCID: 0000-0001-9647-0805²

A. I. Butenko¹ ORCID: 0000-0002-2729-389X²

¹Federal Budgetary Institution of Science A. N. Severtsov Institute
of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences,
33, Leninsky Prospekt, Moscow, Russia, 119071,

²Research Institute of Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants –
branch of the All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary RAS,
28, Bolshaya Cheremushkinskaya St., Moscow, Russia, 117218,
e-mail: naushakova@gmail.com

Larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens* effectively use fruit and vegetable mixtures – waste of retail chains as a feed substrate, including those infected with nematodes. It is shown that the larvae are capable to dispose of the potatoes with high speed (for the 12 day it is reached 70% conversion of substrate) and completely eliminate in the affected root as the potato plant pathogenic nematode *Ditylenchus destructor* and saprobiotic nematode *Rhabditis* spp., which impair the commercial properties of potatoes and other root crops during storage. In the control substrate without larvae of the black soldier fly phytopathogenic nematodes were preserved during the study period, and saprobiotic nematodes have been multiplied. Introduction of zoocompost obtained from fruit and vegetable waste (excrements of the larvae with the remains of undigested substrate) to the soil reduces the infectivity of tomato root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. The introduction of compost under the root system immediately before the infection of the 2-month tomato seedlings reduced the negative impact of the nematode, the plants were more powerful than the infected control. Plants treated with zoocompost at a dose of 6.5 g/plant were particularly distinguished: the mass of their above-ground part and the height

of the stem was close to uninfected control. The prospects of using zoocompost to stimulate the growth and development of plants, and especially plants suffering from nematode invasion, have been shown.

Keywords: fruit and vegetable waste, larvae, *Hermetia illucens*, bioutilization, nematodes, *Ditylenchus destructor*, *Rhabditida*, *Meloidogyne incognita*, tomatoes.

Накопление пищевых отходов, отходов овощных баз, просроченных или утративших свои потребительские свойства продуктов – одна из важнейших проблем современных городов, которая приводит к биологическому загрязнению окружающей среды. В последнее десятилетие активно развиваются технологии применения личинок мухи чёрной львинки *Hermetia illucens* для переработки различных органических субстратов [1–3]. Личинки *H. illucens* являются сапрофагами широкого спектра, питающиеся органическими остатками растительного и животного происхождения. Важным фактором, определяющим перспективность использования этого насекомого для утилизации отходов, является возможность разведения мухи в культуре в производственных условиях [4]. Развиваясь в органических отходах, личинки чёрной львинки могут вступать в контакт с различными организмами, заселяющими субстрат (бактериями, грибами и др.). В связи с заражённостью остатков растительной продукции нематодами, среди которых могут быть и патогенные виды, вопрос о влиянии личинок чёрной львинки на заражённость субстрата этими беспозвоночными вызывает особый интерес.

Стеблевая картофельная нематода *Ditylenchus destructor* – широко распространённый паразит растений. Наибольший ущерб эта нематода причиняет картофелю [5]. Картофель заражается стеблевой нематодой в основном в почве во время вегетации, и это является причиной серьёзного снижения урожайности. А в период хранения клубней паразит массово в них развивается, и является причиной гнилей, поскольку открывает ворота для сапрозойных организмов, в том числе, сапробиотических нематод [6].

Обогащение почвы биологически активными продуктами выделения личинок *H. illucens*, которые содержатся в зоокомпосте, может изменить почвенную биоту и сделать её непривлекательной для развития патогенных видов нематод.

Зоокомпост состоит из остатков непереваренного кормового субстрата, экскрементов личинок, остатков хитинового наружного покрова насекомого при метаморфозе личиночная стадия *H. illucens* насчитывает 6 возрастов;

во время линьки происходит сбрасывание наружной оболочки и обогащение зоокомпоста хитином [7]. Известно, что внесение хитина в почву эффективно против фитопаразитических нематод [8]. Отмечено, что зоокомпост перспективен для использования в качестве стимулятора роста и развития растений [9]. В связи с этим актуально изучение влияния этого зоокомпоста на один из наиболее патогенных видов нематод – галловую нематоду *Meloidogyne incognita*.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей взаимодействия личинок чёрной львинки *H. illucens* с картофельной нематодой *D. destructor*, сапробиотическими нематодами *Rhabditis* spp. при их совместном развитии на картофельном субстрате и фруктово-овощных смесях и изучение свойств зоокомпоста в борьбе с галловой нематодой *M. incognita*. Данные в литературе о взаимодействии этих видов беспозвоночных отсутствуют.

Материалы и методы исследования

Для оценки биоконверсии картофельного субстрата и жизнеспособности фитонематод в период жизнедеятельности личинок львинки в контейнеры размером: длина–ширина 7 × 10 см (площадь 70 см²), и объёмом 500 мл вносили 150 г субстрата, состоящего из измельчённого картофеля, сбалансированного добавлением пшеничных отрубей для получения массы влажностью 65%, и заселяли 6-ти дневными личинками мухи *H. illucens* средней массой 6,00±0,58 мг (по 280 экземпляров в каждый контейнер, что обеспечивало плотность посадки личинок 4 экз./см²). По вариантам по поверхности субстрата распределяли водную суспензию нематод (по 3 мл): вариант 1 – сапробиотические нематоды (в основном *Rhabditis* spp.) около 4 тыс. особей; вариант 2 – фитогельминт *D. destructor* порядка 4 тыс. особей; вариант 3 – только личинки львинок без нематод (вносили 3 мл воды); вариант 4 – смесь *D. destructor* около 3 тыс. особей и около 1 тыс. особей *Rhabditis* spp. без личинок львинки. Повторность – трёхкратная.

Выращивание личинок на фруктово-овощной смеси производства ООО «Экобелок»

(Россия) осуществляли аналогично описанному для картофельного субстрата варианту 3 без нематод.

Продолжительность развития личинок определяли по динамике температуры субстрата и отсутствию/наличию предкуколок (особей тёмного цвета среди светлых личинок). Определение содержания предкуколок проводили путём визуальной оценки их присутствия и подсчётом количества экземпляров данной формы в произвольной выборке из 50 личинок. О завершении процесса переработки личинками *H. illucens* картофельной смеси судили по снижению температуры субстрата до начальной температуры субстрата и по появлению первых предкуколок. Температуру субстрата в контейнере контролировали логгерами температуры DS1922L-F5 (Россия). Величину конверсии кормового субстрата личинками *H. illucens* определяли по разнице между высушенной исходной кормовой массой и полученным высушенным остатком после отделения выросших личинок, выраженной в процентах от сухой исходной массы. Анализ зоокомпостов на наличие живых нематод проводили сразу после отделения личинок *H. illucens* из остаточной массы субстрата (образованного зоокомпоста). Для этого каждый вариант переработанного личинками субстрата был перенесён на сито, и по методу [10] осуществляли экстракцию нематод для дальнейшего анализа. Полученную после биоконверсии массу заморозили при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и в дальнейшем использовали для анализа её действия на галловую нематоду на растениях томата.

Для оценки способности зоокомпостов, содержащих продукты жизнедеятельности личинок чёрной львинки *H. illucens*, подавлять развитие галловой нематоды *M. incognita*, 2-х месячную рассаду томатов F1 Гамаюн, восприимчивых к галловой нематоды (индекс устойчивости к галловой нематоды 30%), высаживали в отдельные вазоны объёмом 500 мл в почвогрунт, предназначенный для выращивания томатов. Одновременно по вариантам под корневую систему томатов вносили зоокомпосты, полученные при выращивании личинок на фруктово-овощной смеси производства ООО Экобелок и зоокомпост, полученный в предыдущем эксперименте. Было составлено 4 варианта: высушенный на воздухе при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ зоокомпост, полученный на фруктово-овощных смесях, в дозе 6,5 и 13 г/растение; этот же зоокомпост, термически обработанный при $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении часа в

дозе 6,5 г/растение; зоокомпост, полученный в предыдущем эксперименте на картофельном субстрате, замороженный при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и размороженный перед внесением в почвогрунт, в количестве 6,5 г/растение. Растения заражали галловой нематодой *M. incognita* в количестве 1000 особей/растение. Галловую нематоду поддерживали на культуре томатов в лабораторных условиях. Контроль – заражённые и здоровые растения без обработки зоокомпостами. Повторность шестикратная. Растения выращивали в лабораторных условиях при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, поддержании 70% влажности и фотопериода 16/8 ч [11]. Через 40 сут провели учёт биометрических показателей растений (вес и длина). С помощью стереоскопического микроскопа Carl Zeiss провели оценку заражённости корневой системы томатов *M. incognita* (число галлов на грамм корня) и морфофизиологическое состояние нематод (размер самок и их плодовитость).

Статистическую обработку осуществляли по программе STATISTICA 8. Разницу между опытными вариантами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа Ано-ва. Зависимость основных параметров друг от друга осуществляли с помощью корреляции Пирсона. Проверку данных на нормальность проводили с помощью Shapiro-Wilk's теста.

Результаты и обсуждение

На 12-е сут эксперимента на картофельном субстрате и фруктово-овощной смеси насекомые завершили их биоконверсию, поскольку температура упала до температуры начальной кормовой смеси (рис. 1) и появились предкуколки, которые имеют тёмную окраску и уже не питаются.

Средняя конверсия высушенного субстрата составила $70,5\pm 0,4\%$, разница между вариантами не достоверна. Из 1 кг сырого картофельного субстрата с начальной влажностью 65% получено $261,4\pm 2,8$ г сухой биомассы личинок в вариантах с нематодами и без них, а из 1 кг сырой фруктово-овощной смеси, влажностью 70% – $258,5\pm 8,8$ г, однако разница между вариантами не достоверна. При переработке 1 кг сырого субстрата, независимо от его типа, образовалось в среднем $296,9\pm 4,5$ г зоокомпоста влажностью $35,4\pm 4,6\%$. Значение pH зоокомпоста при развитии личинок на картофельном субстрате составило $8,5\pm 0,1$, а на фруктово-овощной смеси pH – $6,9\pm 0,6$ ед. В последнем варианте нейтральное значение

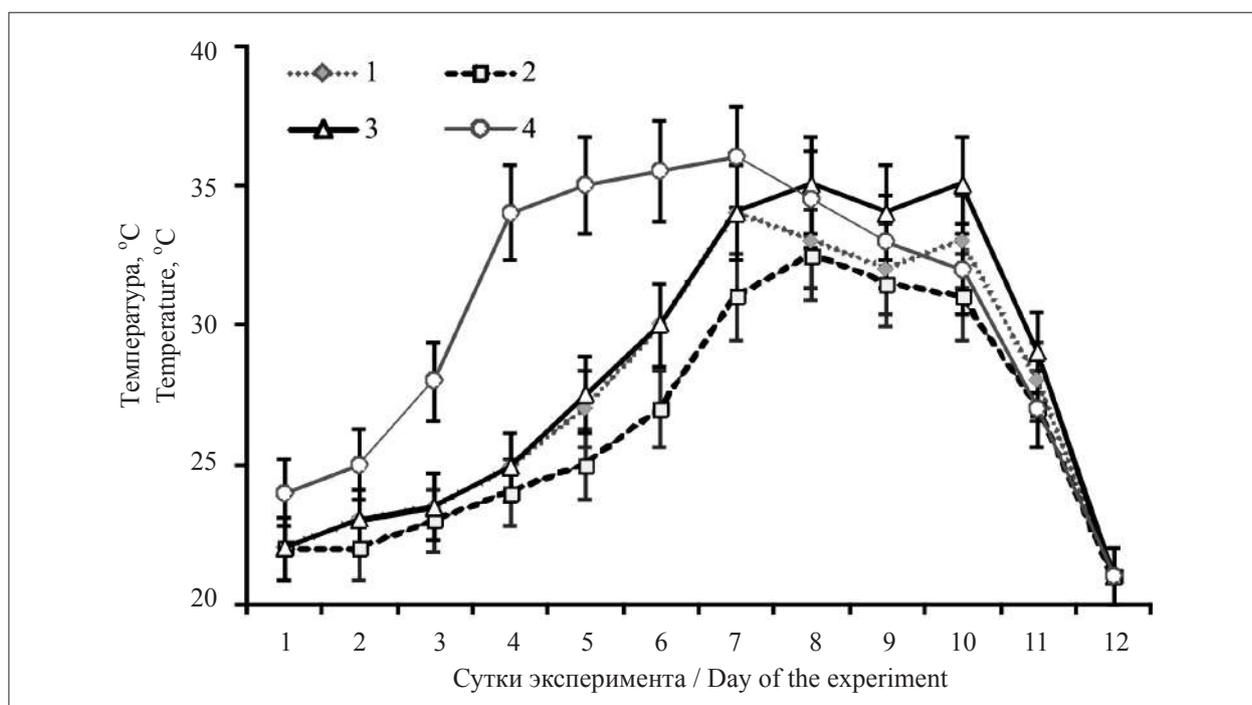


Рис. 1. График динамики температуры субстрата в опыте с развитием в нем личинок *Hermetia illucens*. На картофельном субстрате: 1 – личинки с *Rhabditis* spp., 2 – личинки с *Ditylenchus destructor*, 3 – личинки без нематод. На фруктово-овощной смеси: 4 – личинки без нематод
Fig. 1. Graph of the temperature of the substrate in the experiment with the development of *Hermetia illucens* larvae in it. On potato substrate: 1 – larvae with *Rhabditis* spp., 2 – larvae with *Ditylenchus destructor*, 3 – larvae without nematodes. On fruit and vegetable mix: 4 – larvae without nematodes

Таблица 1 / Table 1

Показатели развития личинок *H. illucens* на разных субстратах
 Indicators of development of larvae of *H. illucens* on different substrates

Вариант Variant	Тип кормового субстрата Type of feed substrate	Из 1 кг сырого субстрата From 1 kg of raw substrate		Конверсия субстрата, % Substrate conversion, %	рН зоокомпоста, единиц pH of zoo compost, units
		сухая биомасса личинок, г dry biomass of larvae, g	сырой зоокомпост*, г crude zoo-compost*, g		
Личинки с <i>Rabditis</i> spp. Larvae with <i>Rabditis</i> spp.	картофельный potato	264,3±7,6	297,1±8,6	70,3±3,6	8,7±0,3
Личинки с <i>D. destructor</i> Larvae with <i>D. destructor</i>		258,6±7,4	305,9±9,4	69,5±2,1	8,5±0,6
Личинки без нематод Larvae without nematodes		249,7±7,2	284,4±7,9	71,6±4,5	8,3±0,4
Личинки без нематод Larvae without nematodes	фруктово-овощная смесь fruit and vegetable mix	267,4±7,7	300,2±8,2	70,6±4,9	6,9±0,6

Примечание: * – влажность зоокомпоста 35,4±4,6%.

Note: * – zoocompost humidity 35.4±4.6%.

остаточной массы связано с присутствием в субстрате органических фруктовых кислот, нейтрализующих образующийся в результате жизнедеятельности личинок львинки аммиак, который растворяется во влажной среде и защелачивает её. Результаты развития личинок

H. illucens представлены в таблице 1. Опытные варианты картофельной или фруктово-овощной смеси отходов в качестве корма для личинок использовались насекомым в одинаковой степени. Присутствие нематод не повлияло на процесс биоконверсии суб-

Таблица 2 / Table 2

Количество сапробиотических и фитопаразитических нематод в картофельном субстрате на 12-е сутки жизнедеятельности личинок *H. illucens*
The number of saprobioitic and phytoparasitic nematodes in potato substrate on the 12th day of life of *H. illucens* larvae

Вариант Variant	<i>D. destructor</i> , экз./вариант <i>D. destructor</i> , ind./variant		<i>Rabditis</i> spp., экз./вариант <i>Rabditis</i> spp., ind./variant	
	1 сут / 1 day	12 сут / 12 day	1 сут / 1 day	12 сут / 12 day
С личинками <i>H. illucens</i> With larvae <i>H. illucens</i>	0	0	4000	0
С личинками <i>H. illucens</i> With larvae <i>H. illucens</i>	4000	0	0	0
Без личинок <i>H. illucens</i> No larvae <i>H. illucens</i>	3000	400	1000	11000

Таблица 3 / Table 3

Действие зоокомпостов на развитие растений томатов и их заражённость галловой нематодой *Meloidogyne incognita* / The effect of zoocomposts on the development of tomato plants and their infection with the *Meloidogyne incognita*

Вариант обработки Processing option	Масса надземных органов, г Mass of aboveground organs, g <i>m</i>	Длина стебля, см Stem length, cm <i>L</i>	<i>m/L</i>	Число галлов/г корня The number of galls/g root	Размер галлов, мм _x мм Galls size, mm _x mm	Размер самок, мм _x мм Size of females, mm _x mm	Число яиц в оотеке The number of eggs in the eggsuc
ФЗО* + <i>M. incognita</i> , 6,5 г/растение / FVZ* + <i>M. incognita</i> , 6.5 g/plant	13,0±1,3	38,1±3,4	0,362	83±13	2,2±0,1	0,24±0,05	34,0±1,8
ФЗО + <i>M. incognita</i> , 13 г/растение / FVZ + <i>M. incognita</i> , 13 g/plant	7,0±0,9	32,0±2,1	0,219	98±9	1,8±0,1	0,20±0,05	25,0±0,4
ФЗО прогретый + <i>M. incognita</i> , 6,5 г/растение / FVZ heated + <i>M. incognita</i> , 6.5 g/plant	8,0±0,9	32,0±3,6	0,250	105±10	1,7±0,1	0,24±0,06	25,0±0,4
КЗ** + <i>M. incognita</i> , 6,5 г/растение / PZ** + <i>M. incognita</i> , 6.5 g/plant	10,1±0,7	34,0±3,1	0,297	151±11	2,44±0,07	0,24±0,06	63,0±0,7
Контроль заражённый Control infected	4,0±0,1	34,7±3,78	0,115	201±16	3,47±0,09	0,24±0,07	51,0±0,7
Контроль незаражённый Control uninfected	15,2±0,9	54,7±4,4	0,273	–	–	–	–

Примечание: *ФЗО – фруктово-овощной зоокомпост; **КЗ – картофельный зоокомпост; “–” – показатели отсутствуют у здоровых растений.

Note: *FVZ – fruit and vegetable zoocompost; **PZ – potato zoocompost; “–” – indicators are absent in healthy plants.

страта личинками львинки и показатели их биомассы.

Через 12 сут после внесения нематод в картофельный субстрат был проведён анализ жизнеспособности нематод. В вариантах с личинками *H. illucens* и нематодами выявили полное отсутствие в зоокомпосте (переработанном личинками *H. illucens* картофельном субстрате) и фитогельминтов, и сапробиотиче-

ских нематод (табл. 2). В варианте без личинок количество фитогельминта – *D. destructor* существенно сократилось, но было выделено около 400 особей паразитической нематоды, а количество сапробиотических нематод – *Rhabditis* spp. возросло в 11 раз и составило около 11 тыс. личинок и взрослых нематод. Таким образом, фитопатогенные нематоды в субстрате за исследуемый период сохрани-

лись, а сапробиотические нематоды размножились.

Результаты оценки способности зоокомпоста подавлять развитие галловой нематоды *M. incognita*, которой заразили предварительно полученную рассаду томатов, представлены в таблице 3. Инвазирование растений значительно угнетало их развитие. На это указывает существенное снижение биометрических показателей томатов. Так, по средней массе надземных органов растений контрольный вариант значительно отличался от опытных ($p \leq 0,02$): этот показатель снизился почти в 4 раза ($F = 14,79, p \leq 0,001$), а по длине стебля – в 1,58 раза ($F = 14,79, p \leq 0,001$). Внесение зоокомпостов под корневую систему непосредственно перед заражением 2-х месячной рассады томатов снизило негативное воздействие нематоды, растения были мощнее по сравнению с заражённым контролем. Особенно выделялись растения, обработанные фруктово-овощным зоокомпостом в дозе 6,5 г/растение: масса их надземной части и высота стебля приближалась к незаражённому контролю, о чём свидетельствует относительный показатель m/L (соотношение массы надземных органов к длине стебля), составивший 0,362, в то время как у незаражённых растений – 0,273.

Термическая обработка зоокомпоста вызвала некоторое снижение эффекта, также, как и действие фруктово-овощного зоокомпоста в дозе 13 г/растение. Замораживание-оттаивание картофельного зоокомпоста привело к увеличению массы надземных органов томатов, только на 23%, уступающей массе надземных органов при введении в почвогрунт 6,5 г/растение фруктово-овощного зоокомпоста и на 33% меньше незаражённого контроля.

При анализе показателей развития нематоды было выявлено, что все обработки в разной степени влияли на нематоду. По снижению количества галлов были эффективны зоокомпосты в дозе 6,5 и 13 г/растение, число галлов по сравнению с контролем снизилось в 2,4 и 2 раза соответственно. По размеру галлов все опытные варианты достоверно отличались от контроля ($F = 2,98, p \leq 0,02$). Наиболее мелкие галлы образовались на корнях растений при внесении зоокомпоста в дозе 13 г/растение и термически прогретого, их размеры были практически в 2 раза мельче контроля. Кроме того, установлена отрицательная зависимость между размером галлов и весом корня ($r = -0,4, p = 0,02$). Одним из показателей успешности развития нематод являются размеры самок

галловых нематод. Снижение размеров самок наблюдалось при внесении зоокомпоста в дозе 13 г/растение. Эта же обработка и прогретый зоокомпост привели к существенному уменьшению числа яиц в оотеках (в 2 раза) по сравнению с контролем.

Личинки мухи чёрной львинки *H. illucens* способны эффективно использовать в качестве кормового субстрата фруктово-овощные отходы торговых сетей, в том числе, заражённые фитопатогенными или сапробиотическими нематодами. Анализ степени преобразования субстрата личинками чёрной львинки показал, что биоконверсии подверглось около 70% отходов. В случае заражения использованного для эксперимента картофеля фитопаразитическими и сапробиотическими нематодами образованный зоокомпост не содержал нематод. Личинки львинки, по-видимому, способны использовать нематод в качестве дополнительного источника пищи, так как в результате развития личинок на картофельном субстрате с нематодами масса *H. illucens* оказалась больше, чем в картофельном субстрате без нематод: дополнительно получено 3,3% биомассы личинок на субстрате с клубневой нематодой картофеля *D. destructor* и 6,7% на субстрате с *Rhabditis* spp. При этом нематоды отсутствовали. Вероятно, они были уничтожены личинками львинки *H. illucens* за время эксперимента. Способность личинок чёрной львинки элиминировать картофельную и сапробиотические нематоды в поражённом корнеплоде может использоваться для утилизации испорченного при хранении картофеля.

Заражение растений галловой нематодой приводит к угнетению их роста и развития, что отражается на биометрических характеристиках растения: высоте и массе надземных органов. Внесение полученного из фруктово-овощных отходов зоокомпоста в почвогрунт уменьшает патогенное воздействие галловой нематоды *M. incognita*, позволяет приблизить у томатов, выращиваемых на таком же почвогрунте, показатель соотношения веса надземных органов к длине стебля к аналогичному показателю у здоровых растений, развивающихся на не заражённом нематодой почвогрунте. Термическая обработка зоокомпоста не привела к исчезновению эффекта его действия на развитие растений и нематод. Замораживание-размораживание зоокомпоста вызвало некоторое снижение антинематодного эффекта. Возможно, это связано не с температурой хранения компоста, а с

нейтральным значением его кислотности, указывающего на различия в химическом составе компостов, полученных при развитии личинок на разных субстратах.

Заключение

Переработка и последующее использование занимает важнейшее место в «иерархии управления отходами» [13]. Использование личинок мухи чёрной львинки *H. illucens* для биоутилизации твёрдых органических отходов – перспективное направление, позволяющее с одной стороны перерабатывать отходы экологически безопасным способом, а с другой – получать белковый кормовой продукт в виде съедобной биомассы личинок чёрной львинки и биоудобрение в виде зоокомпоста, обладающего ценным свойством защиты растений от фитопатогенов.

Полученный при переработке личинками мухи *H. illucens* органических отходов зоокомпост проявляет оздоровительный эффект при внесении в почву, так как личинки позволяют избавиться её от возможного присутствия фитонематод, в том числе, и от экономически значимых паразитов растений. Поскольку зоокомпост содержит большое количество веществ, необходимых для вегетации растений, его можно использовать в качестве биоудобрения для стимуляции роста и развития растений, особенно, страдающих от нематодной инвазии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки, проект № 075-11-2019-070 и в рамках Госзадания по теме № 0109-2019-0008.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of education and science, project No. 075-11-2019-070 and within the framework of the state Task on the topic No. 0109-2019-0008.

References

1. Ushakova N.A., Bastrakov A.I., Karagodin V.P., Pavlov D.S. Specific features of organic waste bioconversion by *Hermetia illucens* fly larvae (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758) // *Biology Bulletin Reviews*. 2018. V. 8. P. 533–541. doi: 10.1134/S2079086418060117
2. Kalová M., Borkovcová M. Voracious larvae *Hermetia illucens* and treatment of selected types of biodegradable

waste // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013. V. LXI. No. 1. P. 77–83. doi: 10.11118/actaun201361010077

3. Wang Y.-S., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food // *Foods*. 2017. V. 6. No. 10. P. 91. doi: 10.3390/foods6100091

4. Diener S., Studt Solano N., Roa Gutiérrez F., Zurbrügg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae // *Waste Biomass Valorization*. 2011. V. 2. No. 4. P. 357–363. doi: 10.1007/s12649-011-9079-1

5. Zinovieva S.V., Chizhov V.N., Pridannikov M.V., Subbotin S.A., Ryss A.Yu., Husainov R.V. Phytoparasitic nematodes of Russia. Moskva: KMK, 2012. 385 p. (in Russian).

6. Blohin G.I., Aleksandrov V.A. Zoology. Moskva: Kolos, 2006. 510 p. (in Russian).

7. Liu X., Chen X., Wang H., Yang Q., Rehman K., Li W., Cai M., Li Q., Mazza L., Zhang J., Yu Z., Zheng L. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly // *PLoS ONE* 2017. V. 12. No. 8. P. 1–21. doi: 10.1371/journal.pone.0182601

8. Udalova Zh.V., Udalova V.B., Zinovieva S.V. The use of chitin and chitosan in the fight against parasitic nematodes // *Russian Parasitological Journal*. 2011. No. 3. P. 109–115 (in Russian).

9. Ramadhani E.P., Rachmisanti H., Gede S., Mia R. Application of compost produced by bioconversion of coffee husk by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as solid fertilizer to lettuce (*Lactuca sativavar. crispa*): Impact to harvested biomass and utilization of nitrogen, phosphorus, and potassium // *GreenTech*. 2017. V. 8. No. 1. P. 20–26.

10. Suantika G., Putra R.E., Hutami R., Rosmiati M. Application of compost produced by bioconversion of coffee husk by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as solid fertilizer to lettuce (*Lactuca sativa var. crispa*) // *Proceedings of the International Conference on Green Technology*. 2017. V. 8. No. 1. P. 20–26.

11. Whitehead A.G., Hemming J.R. A comparison of some quantitative methods extracting small vermiform nematodes from the soil // *Annals of Applied Biology*. 1965. V. 55. P. 25–38. doi: 10.1111/j.1744-7348.1965.tb07864.x

12. Zinovieva S.V., Ozeretskovskaya O.L., Iliinskaya L.I., Vasyukova N.I. Biogenic elicitor (arachidonic acid) induced resistance in tomato to *Meloidogyne incognita* // *Russian Journal Nematology*. 1995. V. 3. No. 1. P. 65–67.

13. Gordeeva Y.M. Waste management law and policy: global trends and European Union experience // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 4. P. 237–241 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-237-241