

DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-324-335

УДК 628.316.12

Научная статья / Scientific article

Биотестирование зоокомпоста культивирования личинок *Hermetia illucens*

Е.Н. Гончарова  , И.Р. Курзенев ,
М.И. Василенко , Е.А. Пендюрин 

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,
Российская Федерация, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

✉ eleng59@rambler.ru

Аннотация. Побочным продуктом производства белка из личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) является зоокомпост, состоящий из разнообразных органических соединений. Цель работы состояла в определении класса опасности зоокомпоста – отхода культивирования личинок *Hermetia illucens* – с помощью методов биотестирования, поскольку использование расчетных методов для определения класса опасности затруднительно. Экспериментальную работу проводили на тест-организмах: низших рачках *Daphnia magna*, водорослях *Chlorella vulgaris*, семенах растений овса *Avena sativa*, пшеницы *Triticum vulgare* и ячменя *Hordeum sativum*. Установлено, что зоокомпост относится к малоопасным отходам. Вытяжки зоокомпоста стимулируют рост растений *Avena sativa* и *Hordeum sativum*, предполагается его использование в качестве фитостимулятора. Показано, что возможен экологически чистый безотходный способ производства белковой добавки из насекомых.

Ключевые слова: зоокомпост, муха черная львинка, *Hermetia illucens*, биотестирование, *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, *Avena sativa*, *Triticum vulgare*, *Hordeum sativum*, безотходные технологии


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

История статьи: поступила в редакцию 30.07.2020; принята к публикации 25.09.2020.

Для цитирования: Гончарова Е.Н., Курзенев И.Р., Василенко М.И., Пендюрин Е.А. Биотестирование зоокомпоста культивирования личинок *Hermetia illucens* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 324–335. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-324-335>

Biotesting of cultivation zoocompost of *Hermetia illucens* larvae

Elena N. Goncharova  , Ivan R. Kurzenev ,
Marina I. Vasilenko , Evgeniy A. Pendyurin 

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov,
46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation
 eleng59@rambler.ru

Abstract. A by-product of protein production from the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) is a zoocompost consisting of a variety of organic compounds. The purpose of the work was to determine the hazard class of the zoo complex – the waste of cultivation of *Hermetia illucens* larvae using biotesting methods, since the use of calculated methods to determine the hazard class is difficult. Biotesting experiments were carried out on test organisms: planktonic crustacean *Daphnia magna*, algae *Chlorella vulgaris*, seeds of *Avena sativa*, *Triticum vulgare* and *Hordeum sativum*. It has been established that the zoocompost refers to low-risk waste. Extractions of the zoocompost stimulate the growth of plants *Avena sativa* and *Hordeum sativum*, it is supposed to be used as a phytostimulator. It has been shown that an environmentally friendly wasteless method for the production of protein additive from insects is possible.

Keywords: zoocompost, black soldier fly, *Hermetia illucens*, biotesting, *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, *Avena sativa*, *Triticum vulgare*, *Hordeum sativum*, non-waste technologies

Acknowledgements and Funding. The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement No. 075-11-2019-070 of 29.11.2019.

Article history: received 30.07.2020; revised 25.09.2020.

For citation: Goncharova EN, Kurzenev IR, Vasilenko MI, Pendyurin EA. Biotesting of cultivation zoocompost of *Hermetia illucens* larvae. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2020;28(4):324–335. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-4-324-335>

Введение

Проблема переработки отходов в связи с развитием масштабов сельскохозяйственного производства становится все более актуальной. Государственная политика в России в области охраны окружающей среды нацелена на сохранение здоровья населения. Для реализации этого проводится работа прежде всего в области обращения с отходами, по направлениям, связанным с максимальным использованием исходных сырья и материалов для получения продуктов, предотвращением образования отходов, сокращением их образования и снижением их опасности, а также обработкой, утилизацией и обезвреживанием отходов [1].

Для решения поставленных необходимо развитие малоотходных и безотходных технологий, представляющих собой такие методы производства продукции, при которых все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно в производственном цикле, и любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее состояния [2].

Такой регионально-межотраслевой подход не является новым [3; 4], однако он до сих пор не распространен на самом производстве, чаще всего не хватает детального комплексного изучения свойств отхода и возможности управления ими для подбора наилучшей технологии его утилизации. Подобные безотходные технологии важно внедрять на вновь открываемых производствах, для чего необходимо изучение разнообразных свойств отхода, установление его класса опасности и степени влияния на окружающую среду.

В 2021 г. в Губкине (Белгородская область) планируется строительство предприятия по производству кормового белка из личинок мухи черная львинка. Проектная мощность на начальном этапе прогнозируется в 300 т муки в месяц, при этом побочным продуктом производства белковой добавки станет зоокомпост личинок.

В Российской Федерации производство альтернативного белка из насекомых пока не столь развито, как за рубежом, но уже получены первые партии готовой продукции, которую планируют использовать при кормлении рыбы и свиней [5; 6]. Чаще всего в качестве источника кормового белка компании используют насекомых как наиболее ценных производителей белка, жиров и других необходимых добавок для кормопроизводства [7].

Основным отходом, получаемым в технологическом производстве белка с помощью личинок мухи черная львинка, является так называемый зоокомпост. Этот отход биогенного происхождения содержит в своем составе чрезвычайно большое количество веществ, в основном органического происхождения (целлюлоза, аминокислоты, жирные кислоты и др.), кроме того, в его состав входят и неорганические соединения (соли аммония, нитраты и др.). Для определения класса опасности подобного вида отходов весьма трудно использовать расчетные методы, поэтому основной путь установления имеющейся потенциальной опасности – проведение экотоксикологического исследования с помощью живых организмов и последующего наблюдения за ними.

Цель исследования – провести эколого-токсикологическую оценку отхода, образующегося в результате получения белка с помощью выращивания личинок мухи *Hermetia illucens*, а именно – определить класс опасности вышеупомянутого отхода (зоокомпоста) методами биотестирования.

Биотестирование является экспериментальным методом, позволяющим установить степень возможного вредного воздействия отходов на окружающую природную среду при непосредственном или опосредованном воздействии на нее [8]. Данный метод является обязательным для отнесения отходов к практически неопасным для окружающей среды. Экспериментальное определение класса опасности отходов заключается в лабораторном исследовании токсичности отходов на организмах, наиболее чувствительных к воздействию определенных токсикантов. Для этого используют не менее двух живых организмов, относящихся к различным систематическим группам. Установление класса опасности отходов осуществляется в соответствии с законодательством РФ [9].

Материалы и методы

Объект исследования – зоокомпост, который является отходом производства кормового белка с помощью мухи *Hermetia illucens*.

Биотестирование водных вытяжек отходов выполнялось в ходе кратковременных экспериментов, которые проводили на пяти тест-организмах: дафниях, хлорелле и трех злаковых растениях – овсе, пшенице и ячмене. Экспериментальное исследование проводилось на большем количестве видов живых организмов, что требуется согласно методике [9], с включением в состав тест-организмов растения, поскольку предполагается в дальнейшем использовать исследуемый отход в качестве удобрения или составной части комплексного удобрения.

В соответствии с общепринятыми методиками класс опасности устанавливали по коэффициенту разведения водной вытяжки, при которой не выявлено вредного влияния на тест-объекты.

Результаты и их обсуждение

Проведение эксперимента на дафниях. Для исследований токсичности зоокомпоста использовали вид низших ракообразных *Daphnia magna* Str. Дафнии являются основными тест-организмами, которые используются при установлении токсичности различных объектов в окружающей среде. Экспериментальные исследования с их участием, проводимые в странах Европы и США, имеют практически одинаковый методический подход.

Выращивание культуры дафний производили согласно методике [10]. Эксперименты на дафниях требуют однородности популяции особей, поэтому необходимо выполнять все условия их разведения и содержания, для этого использовали климатостат ВЗ. В качестве культиваторов применяли кристаллизаторы объемом 2–5 дм³, которые наполняли на 3/4 объема культивационной водой. Плотность содержания особей составляла до 25 шт/дм³. Чувствительность дафний контролировали по бихромату калия. Длительность проведения эксперимента – 48 ч.

Основным показателем токсичности отходов в остром эксперименте на дафниях является коэффициент разбавления их водных вытяжек, вызывающих гибель не более 10 % дафний за 48 ч наблюдения. Рассчитывали процент погибших в результате проведенных экспериментов дафний (А, %) по сравнению с контролем (табл. 1).

Результаты проведения эксперимента на *Daphnia magna*. В соответствии с методикой [10] были приготовлены серии разбавлений в трех параллелях. Вытяжка зоокомпоста с кратностью разведения 1:10 имела значение рН = 7,48, что соответствует требованию оптимальных условия для развития дафний. В табл. 1 представлены данные, полученные после 48 ч эксперимента.

В результате проведенных экспериментов установлена кратность разведения вытяжек зоокомпоста (равна 10), при которых не наблюдается гибель дафний, следовательно, исследуемый отход можно отнести к 4-му классу опасности.

Таблица 1

**Результаты биотестирования водной вытяжки зоокомпоста
на тест-объекте *Daphnia magna* Straus**

Объект	Кратность разведения пробы	Количество выживших дафний				Показатель токсичности δ , %	A, %	Класс опасности
		X ₁	X ₂	X ₃	X _{ср}			
Зоокомпост	1	3	4	4	3,7	63	37	IV
	10	10	10	10	10	0	0	
Контроль		10	10	10	10	0	0	

Table 1

Results of biotesting of water zoocompost extract on the test object *Daphnia magna* Straus

Object	Sample dilution factor	Number of live <i>Daphnia magna</i>				Toxicity index δ , %	A, %	Hazard class
		X ₁	X ₂	X ₃	X _{ср}			
Zoocompost	1	3	4	4	3.7	63	37	IV
	10	10	10	10	10	0	0	
Control		10	10	10	10	0	0	

Проведение эксперимента на зеленых одноклеточных водорослях.

В качестве другого объекта биотестирования зоокомпоста использовали культуру *Chlorella vulgaris* Beijer. Методика основана на регистрации изменения численности водоросли в различных вытяжках отхода по сравнению с контрольной средой, содержащей питательные вещества для их роста (среда Тамия) [11]. Численность одноклеточных водорослей учитывают с помощью прямого счета водорослей под микроскопом или определения оптической плотности (флуоресценции) водорослей. Критерием токсичности вытяжек отхода в данном эксперименте является снижение на 20 % и более величины оптической плотности или их увеличение на 30 % и более в течение 22 ч в растворах по сравнению с контролем. Выращивание культуры водоросли производили в культиваторе КВ-05. Водоросли выращивали на питательной среде Тамия, для ее приготовления использовали дистиллированную воду и растворы солей. В качестве тест-организма использовали штамм одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer.

Для проведения токсикологического эксперимента использовали культуру водорослей хлореллы, находящуюся в экспоненциальной стадии роста. В этом случае концентрация клеток должна быть около $3 \cdot 10^4$ кл/мл, кроме того, необходимо, чтобы не менее 90 % клеток было живыми (проверка осуществлялась окраской витальными красителями). Периодически, так же как и в случае культуры дафний, проверяли чувствительность культуры хлореллы к бихромату калия.

Результаты проведения эксперимента на *Chlorella vulgaris*. В табл. 2 представлены данные проведенных экспериментов на зеленых одноклеточных водорослях после 22 ч наблюдения.

В результате установлено, что при кратности разведения вытяжки отхода, равной 10, суспензии водорослей имеют такую же оптическую плотность, что и в случае контроля. Следовательно, в соответствии с методикой

установления класса опасности отхода [9], зоокомпост, как и в случае с экспериментами на дафниях, относится к 4-му классу опасности – малоопасным отходам.

Таблица 2

**Результаты проведенных экспериментов
на водных вытяжках зоокомпоста на *Chlorella vulgaris***

Объект	Кратность разведения пробы	Значение оптической плотности					I, %	Класс опасности
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _{ср}		
Зоокомпост	1	0,071	0,068	0,069	0,068	0,069	46,9	IV
	10	0,128	0,122	0,126	0,125	0,125	3,7	
Контроль		0,130	0,131	0,130	0,129	0,130	0	

Table 2

Results of biotesting of water zoocompost extract on the test object *Chlorella vulgaris*

Object	Sample dilution factor	Optical density value					I, %	Hazard class
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D _{ср}		
Zoocompost	1	0.071	0.068	0.069	0.068	0.069	46.9	IV
	10	0.128	0.122	0.126	0.125	0.125	3.7	
Control		0.130	0.131	0.130	0.129	0.130	0	

Проведение эксперимента на растениях. Экспериментальное исследование проводили на трех видах злаковых растений, поскольку в дальнейшем планируется использовать исследуемый отход в качестве удобрительного материала. Фитотестирование проводилось на семенах овса, пшеницы и ячменя, тест-функцией в данных экспериментах является длина корней в вытяжках отхода по сравнению с контролем (водой) [8]. Считали, что имеется токсический эффект действия вытяжек отхода, если наблюдали эффект угнетения более 20 %.

Результаты проведения эксперимента на растениях. Результаты биотестирования вытяжки зоокомпоста приведены в табл. 3, а внешний вид растений на рис. 1–4.

В соответствии с методикой также рассчитывали эффект воздействия водных вытяжек отхода на семена вышеназванных растений. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что вытяжки исследуемого отхода не оказывают вредного воздействия во всем исследованном интервале разбавлений. Наоборот, на *Avena sativa* (овес посевной) вытяжки отхода с коэффициентом разведения, равным 10–100, оказывают стимулирующее действие – до 70 %, на *Hordeum sativum* (ячмень посевной) – до 53 %, лишь для *Triticum vulgare* (пшеница обыкновенная) стимулирующий эффект не обнаружен, но не наблюдали и эффект угнетения роста. Следовательно, данный вид зоокомпоста, по крайней мере, относится к малоопасным отходам для окружающей среды. Следует отметить, что на корни овса водная вытяжка с разведением 1/10 оказывает стимулирующее действие на 54 %, а в случае 1/100 на 69 %. Вытяжка зоокомпоста с разведением 1/100

также приводит к увеличению длины корней *Hordeum sativum*, эффект в этом случае равен 53 %. Обнаружено стимулирующее воздействие вытяжек отхода на длину проростков (рис. 1–4). Данные эксперимента по влиянию вытяжек зоокомпоста на длину растений не приведены, поскольку по методике проведения эксперимента это не требуется.

Таблица 3

Результаты биотестирования водных вытяжек зоокомпоста с помощью злаковых растений

Коэффициент разведения водной вытяжки отхода	Длина корней растений, см		
	<i>Avena sativa</i> (овес)	<i>Triticum vulgare</i> (пшеница)	<i>Hordeum sativum</i> (ячмень)
Контроль	6,5 ± 0,2	9,5 ± 0,2	8,5 ± 0,2
1:1	15,4 ± 0,4	9 ± 0,4	10 ± 0,6
1:10	10 ± 0,5	8 ± 0,6	9 ± 0,4
1:100	11 ± 0,5	10 ± 0,5	13 ± 0,9

Table 3

Results of biotesting of water extracts of zoocompost with the help of cereal plants

Sample dilution factor of water extract of zoocompost	Plant root lengths, cm		
	<i>Avena sativa</i> (oats)	<i>Triticum vulgare</i> (wheat)	<i>Hordeum sativum</i> (barley)
Control	6.5 ± 0.2	9.5 ± 0.2	8.5 ± 0.2
1:1	15.4 ± 0.4	9 ± 0.4	10 ± 0.6
1:10	10 ± 0.5	8 ± 0.6	9 ± 0.4
1:100	11 ± 0.5	10 ± 0.5	13 ± 0.9



а



б



в

Рис. 1. Злаковые растения, контроль:

а – *Avena sativa*; б – *Triticum vulgare*; в – *Hordeum sativum*

Figure 1. Cereal plants, control:

а – *Avena sativa*; б – *Triticum vulgare*; в – *Hordeum sativum*

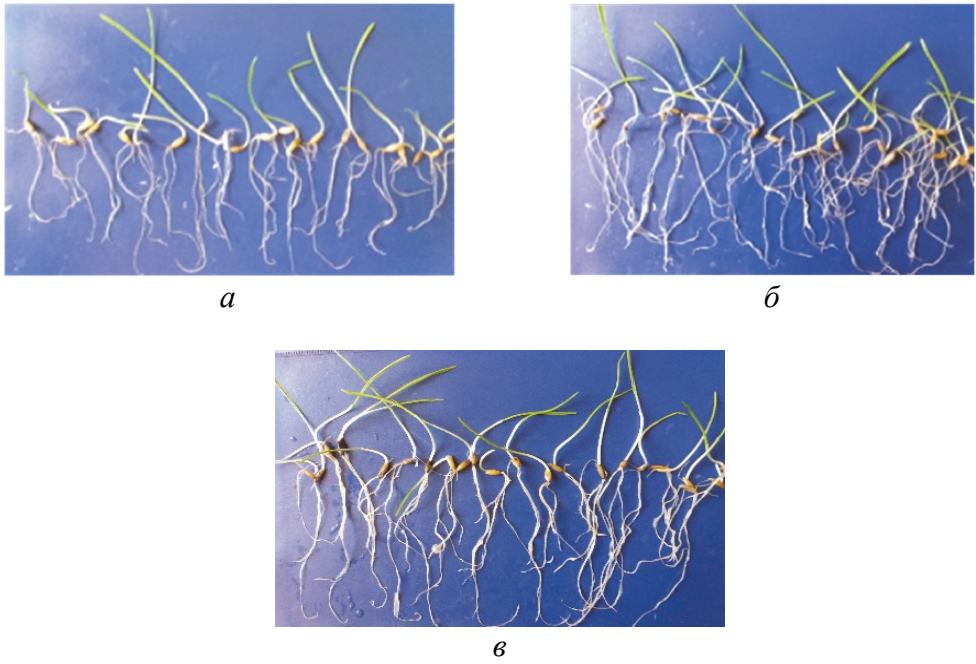


Рис. 2. *Avena sativa*, коэффициент разведения водной вытяжки:
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100
Figure 2. *Avena sativa*, sample dilution factor of water extract:
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100

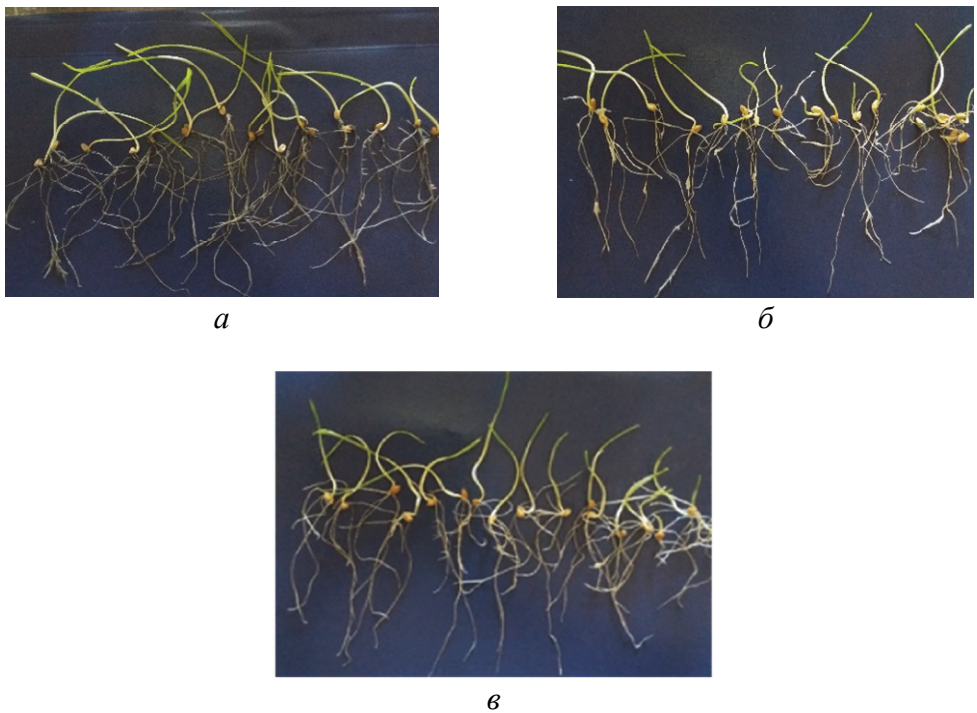


Рис. 3. *Triticum vulgare*, коэффициент разведения водной вытяжки:
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100
Figure 3. *Triticum vulgare*, sample dilution factor of water extract:
а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100

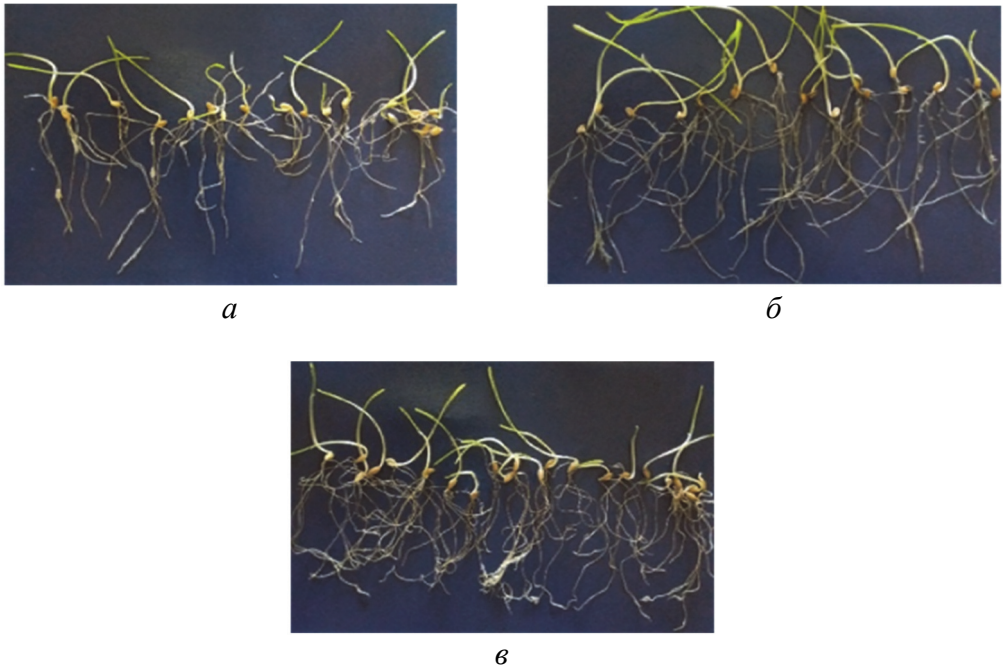


Рис. 4. *Hordeum sativum*, коэффициент разведения водной вытяжки:
 а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100
Figure 4. *Hordeum sativum*, sample dilution factor of water extract:
 а – 1:1; б – 1:10; в – 1:100

Таблица 4

Эффект воздействия водных вытяжек зоокомпоста на семена растений

Коэффициент разведения водной вытяжки отхода	Эффект воздействия, %		
	<i>Avena sativa</i> (овес)	<i>Triticum vulgare</i> (пшеница)	<i>Hordeum sativum</i> (ячмень)
1:1	+15	-5	+18
1:10	+54	-16	+6
1:100	+69	+5	+53

Table 4

Effect of water extracts of the zoo compost on seeds of the plants

Sample dilution factor of water extract of zoocompost	Effect, %		
	<i>Avena sativa</i> (oats)	<i>Triticum vulgare</i> (wheat)	<i>Hordeum sativum</i> (barley)
1:1	+15	-5	+18
1:10	+54	-16	+6
1:100	+69	+5	+53

Отметим, что нахождение в окружающей среде подобного рода отходов все же может быть опасным, поскольку имеется вероятность загрязнения солями аммония и нитратами. В случае попадания в водоемы эти вещества вызовут бурный рост водорослей, что ухудшит качество воды, а также изменит состав популяций гидробионтов, и в итоге приведет к изменению экосистемы, нанеся существенный ущерб окружающей среде.

Заключение

В результате проведенной экспериментальной работы по биотестированию можно сделать вывод, что к зоокомпосту – отходу культивирования личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) более чувствительны *Daphnia magna* и *Chlorella vulgaris*.

На все исследованные растения вытяжка зоокомпоста не оказывает угнетающего эффекта, а для *Avena sativa* и *Hordeum sativum*, наоборот, стимулирует рост. Хранение отхода культивирования личинок мухи необходимо осуществлять в контролируемых условиях. В дальнейшем необходимо провести работу по утилизации данного вида отхода.

Эколого-токсикологическое исследование подтвердило, что зоокомпост культивирования личинок мухи черная львинка относится к малоопасным отходам для окружающей среды и допустим для использования в качестве удобрительного материала в растениеводстве. Применение зоокомпоста как удобрения может сделать процесс получения белка с помощью личинок *Hermetia illucens* безотходным и тем самым наиболее экономно расходовать природные ресурсы и наносить наименьший ущерб окружающей среде.

Список литературы

- [1] Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция). URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения : 26.06.2020).
- [2] Тарасова Н.П., Зайцев В.А., Кузнецов В.А. Безотходные, чистые и зеленые технологии // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28. № 4 (153). С. 19–22.
- [3] Кухарь В.П., Зайцев И.Д., Сухоруков Г.А. Экотехнология. Оптимизация технологии производства и природопользования. Киев : Наукова думка, 1989. 264 с.
- [4] Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П. и др. Проблемы развития безотходных производств. М. : Стройиздат, 1981. 207 с.
- [5] Ушакова Н.А., Некрасов Р.В., Правдин В.Г. и др. Новое поколение пробиотических препаратов кормового назначения // Scientific Reviews. 2012. № 1. С. 184–192.
- [6] Некрасов Р.В., Чабаев М.Г., Зеленченкова А.А. и др. Питательные свойства личинок *Hermetia illucens* L. – нового кормового продукта для молодняка свиней // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 2. С. 316–325.
- [7] ФАО : Насекомые – отличный источник белков и витаминов // Продмаг. 2013. 13 мая. URL : <http://prodmagazin.ru/2013/05/13/fao-nasekomyie-otlichnyiy-istochnik-belkov-i-vitaminov/> (дата обращения : 26.06.2020).
- [8] Биологический контроль окружающей среды : биоиндикация и биотестирование / под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Сарапульцевой. М. : Академия, 2008. 288 с.
- [9] Приказ МПР РФ от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду». М., 2014. 14 с.
- [10] ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний. М. : Акварос, 2007. 51 с.
- [11] ФР.1.39.2007.03223. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М. : Акварос, 2007. 47 с.

References

- [1] *Federal Law “On Production and Consumption Waste” dated 24.06.1998 No. 89-FZ (latest edition)*. (In Russ.) Available from: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (accessed: 26.06.2020).
- [2] Tarasova NP, Zajcev VA, Kuznecov VA. Waste-free, clean and green technologies. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2014;28(4(153)):19–22. (In Russ.)
- [3] Kuhar VP, Zajcev ID, Suhorukov GA. *Ecotechnology. Optimization of production technology and environmental management*. Kiev: Naukova Dumka Publ.; 1989. (In Russ.)
- [4] Laskorin BN, Gromov BV, Cygankov AP, et al. *Problems of development of waste-free production*. Moscow: Strojizdat Publ.; 1981. (In Russ.)
- [5] Ushakova NA, Nekrasov RV, Pravdin VG, et al. A new generation of probiotic preparations for feed purposes. *Scientific Reviews*. 2012;(1):184–192. (In Russ.)
- [6] Nekrasov RV, Chabaev MG, Zelenchenkova AA, et al. Nutritional properties of the larvae of *Hermetia illucens* L. – a new feed product for young pigs. *Agricultural Biology*. 2019;54(2):316–325. (In Russ.)
- [7] FAO: Insects are an excellent source of proteins and vitamins. *Prodmag*. 2013. (In Russ.) Available from: <http://prodmagazin.ru/2013/05/13/fao-nasekomyie-otlichnyiy-istochnik-belkov-i-vitaminov/> (accessed: 26.06.2020).
- [8] Melekhova OP, Sarapulceva EI. (eds.) *Biological control of the environment: bioindication and biotesting*. Moscow: Akademiya Publ.; 2008. (In Russ.)
- [9] *Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 04.12.2014 No. 536 “On approval of the criteria for classifying waste to I–V hazard classes according to the degree of negative impact on the environment”*. Moscow; 2014. (In Russ.)
- [10] FR.1.39.2007.03222. *Methods for determining the toxicity of water and water extracts from soils, sewage sludge, waste by mortality and changes in fertility of daphnia*. Moscow: Akvaros Publ.; 2007. (In Russ.)
- [11] FR.1.39.2007.03223. *Methods for determining the toxicity of waters, water extracts from soils, sewage sludge and waste by changing the level of chlorophyll fluorescence and the number of algal cells*. Moscow: Akvaros Publ.; 2007. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Гончарова Елена Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2442-1742>; eLIBRARY SPIN-код: 4233-9699. E-mail: eleng59@rambler.ru

Курзнев Иван Романович, магистрант, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2975-8152>; eLIBRARY SPIN-код: 8755-7261. E-mail: spandwaryandex@gmail.com

Василенко Марина Ивановна, кандидат биологических наук, доцент, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-B203-8325>; eLIBRARY SPIN-код: 1840-2852. E-mail: vasilemn@mail.ru

Пендюрин Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, кафедра промышленной экологии, Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4826-3654>; eLIBRARY SPIN-код: 1507-2474. E-mail: pendyrinea@yandex.ru

Bio notes:

Elena N. Goncharova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2442-1742>; eLIBRARY SPIN-code: 4233-9699. E-mail: eleng59@rambler.ru

Ivan R. Kurzenev, master student, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2975-8152>; eLIBRARY SPIN-code: 8755-7261. E-mail: spandwaryandex@gmail.com

Marina I. Vasilenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-B203-8325>; eLIBRARY SPIN-code: 1840-2852. E-mail: vasilemn@mail.ru

Evgeniy A. Pendyurin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Ecology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4826-3654>; eLIBRARY SPIN-code: 1507-2474. E-mail: pendyrinea@yandex.ru