

Научная статья

УДК 532.651

https://doi.org/10.31016/1998-8435-2024-18-1-87-__

Влияние инсектокомпоста, полученного при разведении жука чернотелки *Ulomoides dermestoides*, на эколого-трофический состав и развитие почвенных и фитопаразитических нематод

Жанна Викторовна Удалова¹, Наталья Николаевна Буторина²,
Нина Александровна Ушакова³, Светлана Васильевна Зиновьева⁴

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (ВНИИП – фил. ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН), Москва, Россия

¹⁻⁴ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук», Москва, Россия

¹ zh.udalova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8254-4495>

² nbut@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-43022985>

³ naushakova@gmail.com

⁴ zinovievas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0969-4569>

Аннотация

Цель исследований – изучить влияние инсектокомпоста, полученного в результате жизнедеятельности насекомых отряда жесткокрылых *Ulomoides dermestoides*, на количественный и качественный состав почвенных нематод различных эколого-трофических групп, а также на морфофизиологическое состояние растений и заражение галловыми нематодами растений томатов.

Материалы и методы. В лабораторных условиях вносили 1%-ный сухой и 0,5; 0,75 и 1%-ные водные растворы биокомпоста, полученного при содержании *U. dermestoides* на сухой питательной смеси, в грунт, содержащий разнообразную фауну нематод, затем засеивали газонной смесью злаковых трав. Через 30 сут анализировали состав нематод. Возможность подавлять паразитические виды нематод инсектокомпоста исследовали на модельной системе томаты-галловая нематода. Томаты заражали *Meloidogyne incognita* в количестве 500 личинок второго возраста на растение и одновременно обрабатывали 0,5%-ным водным раствором биокомпоста.

Результаты и обсуждение. Инсектокомпост *U. dermestoides* оказывает действие на количественные и качественные показатели в сообществе почвенных нематод, повышая число хищных и сапробиотических нематод, вытесняя паразитических. За счет содержания разнообразных биологически активных соединений, влияет на развитие галловой нематоды в корнях томата. При обработке томатов водным раствором инсектокомпоста снижается балл заражения и число нематод, проникших в корни. Внесение компоста при выращивании смеси газонных трав и томатов позволяет улучшить состояние растений.

Ключевые слова: инсектокомпост, *Ulomoides dermestoides*, почвенные нематоды, *Meloidogyne incognita*, защита растений

Благодарности. Коллектив авторов благодарит за оказанную помощь в определении соотношения элементного состава материала заведующую кабинетом электронной микроскопии ИПЭЭ РАН им. А. Н. Северцова, доктора биологических наук Раису Мусаевну Хацаеву.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Конфликт интересов отсутствует.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Удалова Ж. В., Буторина Н. Н., Ушакова Н. А., Зиновьева С. В. Влияние инсектокомпоста, полученного при разведении жука чернотелки *Ulomoides dermestoides*, на эколого-трофический состав и развитие почвенных и фитопаразитических нематод // Российский паразитологический журнал. 2024. Т. 18. № 1. С. 87–99.

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2024-18-1-87-99>

© Удалова Ж. В., Буторина Н. Н., Ушакова Н. А., Зиновьева С. В., 2024

Original article

Influence of insectocompost obtained by cultivation of the during beetle *Ulomoides dermestoides* on the ecological-trophic composition and development of soil and phytoparasitic nematodes

Zhanna V. Udalova¹, Natalia N. Butorina², Nina A. Ushakova³, Svetlana V. Zinovieva⁴

¹ All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre VIEV” (VNIIP – FSC VIEV), Moscow, Russia

¹⁻⁴ A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia

¹ zh.udalova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8254-4495>

² nbut@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-43022985>

³ naushakova@gmail.com

⁴ zinovievas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0969-4569>

Abstract

The purpose of the research is to study the effect of insect compost obtained as a result of the vital activity of insects of the Coleoptera order *Ulomoides dermestoides* on the quantitative and qualitative composition of soil nematodes of various ecological and trophic groups, as well as on the morphological and physiological state of plants and infection of tomato plants with root-knot nematodes.

Materials and methods. Under laboratory conditions, soil containing a diverse fauna of nematodes was treated with 1% dry and 0.5; 0.75 and 1% aqueous solutions of biocompost. Insect compost was obtained by keeping the *U. dermestoides* on a dry nutrient mixture. Then a mixture of lawn grasses was sown in the ground. After 30 days, the composition of nematodes was analyzed. The ability of insect compost to suppress parasitic nematode species was studied using the tomato-knot nematode model system. Tomatoes were infected with *Meloidogyne incognita* at a rate of 500 larvae (J2) per plant and simultaneously treated with a 0.5% aqueous biocompost solution.

Results and discussion. The insect compost *U. dermestoides* has an effect on quantitative and qualitative indicators in the community of soil nematodes, increasing the number of predatory and saprobic nematodes and displacing parasitic ones. And due to the content of various biologically active compounds, it affects the development of root-knot nematodes in tomato roots. When tomatoes are treated with an aqueous solution of insect compost, the infection score and the number of nematodes that penetrate the roots are reduced. The introduction of compost when growing a mixture of lawn grasses and tomatoes can improve the condition of the plants.

Keywords: insect compost, *Ulomoides dermestoides*, soil nematodes, *Meloidogyne incognita*, plant protection

Acknowledgments. The team of authors would like to thank the head of the electron microscopy room at the A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, for their assistance in determining the ratio of the elemental composition of the material, Doctor of Biological Sciences Raisa M. Khatsaeva.

Financial transparency: none of the authors has financial interest in the submitted materials or methods.

There is no conflict of interests.

For citation: Udalova Zh. V., Butorina N. N., Ushakova N. A., Zinovieva S. V. Influence of insectocompost obtained by cultivation of the during beetle *Ulomoides dermestoides* on the ecological-trophic composition and development of soil and phytoparasitic nematodes. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal = Russian Journal of Parasitology*. 2024;18(1):87–99. (In Russ.).

<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2024-18-1-87-99>

© Udalova Zh. V., Butorina N. N., Ushakova N. A., Zinovieva S. V., 2024

Введение

Почвы представляют собой сложную систему, которая включает биотические и абиотические элементы – минеральные и органические питательные вещества и живые организмы. Число видов, состав и разнообразие этих организмов в почве зависят от многих факторов, включая степень аэрации, температуру, влажность, состав питательных веществ и содержание органического вещества [5]

Взаимодействие почвенных организмов друг с другом, а также с растениями и животными в экосистеме образуют сложную сеть экологической деятельности – почвенную пищевую сеть.

Важным компонентом пищевых сетей являются нематоды – одна из наиболее многочисленных и разнообразных групп беспозвоночных, обитающих в почве. Они питаются водорослями, бактериями, грибами или на корнях растений. Некоторые виды являются хищниками, питаются другими нематодами или простейшими.

Широкий трофический спектр нематод свидетельствует о существенном значении их как консументов и редуцентов в биоценозах. Они могут усиливать вторичную сукцессию, стимулировать биоразнообразие [13], а также ускорять протекание почвенных процессов, например, распад органических остатков [37]. Некоторые виды почвенных нематод являются опасными патогенами, причиняющими сельскохозяйственному производству значительный ущерб.

Плодородие почв определяется содержанием в них гумусовых веществ, образующихся в результате превращений органических остатков, попадающих в почву, которые, в свою очередь, служат источниками питания для почвенных микроорганизмов и создают почвенную структуру.

Повсеместное применение тяжелой сельскохозяйственной техники, а также химикатов в качестве удобрений и пестицидов, приводит к изменению структуры почвы, влияет на почвенную среду и резко сокращает численность и число видов почвообитающих организмов. В результате, почвы становятся малопродуктивными для выращивания сельскохозяйственных культур. Восстановить её утраченные функции можно с помощью внесения органических удобрений, которые обеспечивают рост и развитие растений благодаря образующимся в процессе разложения нитратным, фосфатным и сульфатным соединениям.

В настоящее время имеются сведения о воздействии органических удобрений на почвенную биоту, включая нематод [23, 38]. Отмечено, что питающиеся бактериями простейшие и нематоды растут с максимальной скоростью в течение нескольких недель после добавления органического материала [11]. Некоторыми авторами предлагается вносить в грунт органические удобрения для усиленного развития сапрофитов, вслед за которыми размножаются хищники (хищные клещи, хищные грибы или хищные нематоды), которые будут уничтожать фитопаразитических нематод [29]. Микроорганизмы-нематофаги, как естественные враги нематод, имеют перспективный способ борьбы с ними [4].

Имеются сведения, что органические удобрения или биокомпосты при добавлении щелочных добавок ингибируют развитие фитогельминтов и снижают их численность за счет кратного увеличения аммиака [26]. Однако, для каждой культуры необходимо определить нормы и кратность внесения, необходимые для поддержания низкого уровня нематод; разработать методологию для предотвращения чрезмерного образования аммиака; учесть долгосрочное влияние этих добавок на физические, химические и экологические свойства почвы.

Инсектокомпосты, как побочный продукт получения личинок насекомых или в целях быстрой переработки органических отходов, могут представлять интерес для использования в качестве полноценного удобрения и для регуляции микробиома почвы.

Наряду с использованием земляных червей, одним из перспективных способов получения биогумуса можно считать превращение различных органических отходов с помощью личинок мухи черной львинки *Hermetia illucens*, которые способны за короткий срок преобразовывать широкий круг органических отходов в ценное удобрение, внесение которого в почву оказывает влияние на жизнедеятельность галловой нематоды [33].

Инсектокомпост, образующийся при разведении жука чернотелки *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) Tenebrionidae, также может представлять интерес в силу своего уникального состава. *U. dermestoides* – широко распространенный представитель жесткокрылых, достаточно неприхотлив, поэтому его массово разводят в качестве корма для животных, содержащихся в условиях зоопарков и научных лабораторий [2].

В последнее время большое внимание уделяется фармакологическим свойствам продуцентов данного насекомого, поскольку его используют в альтернативной медицине. В составе эфирных масел данного насекомого выделено более 200 вторичных метаболитов: спирты, альдегиды, алканы, алкены, алкины, алкилдисульфиды, ароматические соединения, карбоновые кислоты и их производные, хиноны, терпены [9]. Показано, что водный экстракт жука содержит комплекс антиоксидантных веществ, в число которых входят ферменты и небелковые соединения, а также комплекс антистрессовых белков теплового шока [34]. С данными соединениями связано увеличение продолжительности жизни ряда организмов (насекомых, клещей и свободноживущих нематод) [25, 34]. Кроме этого, при стрессе чернотелки, как большинство видов тенебреонид, выделяют летучие органические соединения, в основном бензохиноны и алкены, с отпугивающим и раздражающим хищников действием, а также обладающих антибиотическими свойствами [6, 7, 15, 36, 37].

Большинство хинонов широко известны, как соединения, приводящие к образованию

активных форм кислорода, и способные образовывать ковалентные связи с макромолекулами. Представляет интерес исследовать действие инсектокомпоста, содержащего данные биологические вещества, внесенного в почву, на растения и нематод, которые являются индикаторами состояния и степени изменений почвенных экосистем [1].

В настоящем исследовании были изучены влияние инсектокомпоста насекомых отряда жесткокрылых *U. dermestoides* на морфофизиологическое состояние (биометрические показатели, фотосинтез) представителей двудольных и однодольных растений, а также изменения состава различных эколого-трофических групп нематод в почве. Также, в задачи нашего исследования входило определение влияния компоста на развитие галловой нематоды *Meloidogyne incognita* с целью установления его возможного применения для контроля паразитических нематод в агроценозах.

Материалы и методы

Исследование влияния инсектокомпоста на нематод природных трофических групп проводили в лабораторных условиях. Для опыта использовали естественный дерново-глебоватый грунт (точка сбора N55.331558 E 38.404186, д. Першино, Раменский р-он, Московская обл.), содержащий естественное сообщество нематод, включающее различные трофико-экологические группы.

Биокомпост получен в результате жизнедеятельности личинок и жуков чернотелки *U. dermestoides* на сухой питательной смеси, содержащей пшеничные отруби (70%), кукурузную муку (20%), сухое молоко (5%) и подсолнечный шрот (5%) в климатической камере при температуре 28 °C и влажности 60–70%.

Керамические вазоны (объемом 850 мл) заполняли подготовленным грунтом (~700 г), куда затем вносили различное количество сухого или разведенного в воде инсектокомпоста по следующей схеме:

- 7 г сухого компоста на вазон (1% от массы грунта), поверхностно перемешанного с почвой;
- 7 г (1% в.ч.); 5,3 г (0,75% в.ч.) и 3,5 г (0,5% в.ч.) сухого компоста, разведенного в 50 мл воды, замоченного на сутки и отфильтрованного от твердых остатков компоста, внесенного из расчета по 50 мл на вазон.

- контроль – 50 мл воды на вазон.

Каждый вариант проводили в 5-кратной повторности. В обработанную почву было посеяно по 3 г/вазон семян газонной смеси злаковых трав: райграс пастбищный 50%, овсяница красная 15%, овсяница луговая 20%, тимофеевка луговая 15%. Растения выращивали при 25 °С, влажности 70%, фотопериоде L : D – 16 : 8 в течение 30 сут. В начале и конце эксперимента проводили анализ фауны нематод, которых выделяли по методу Бермана. Для анализа отбирали из каждого сосуда (опытного и контрольного) по 5 почвенных проб массой 20 г каждая. С помощью светового микроскопа Carl Zeiss "Axiostar plus" 10 × 40 (Германия) определяли видовой состав фауны нематод почвы перед началом эксперимента и их дифференцировку согласно трофической классификации [37]. При анализе не учитывали цисты и яйца нематод, а также энтомо- и зоопаразитические нематоды, вероятность присутствия которых в почве не исключается. На 30-е сутки растения были убраны, оценены биометрические показатели травостоя (масса и его состояние), проведена оценка фотосинтетических параметров растительной ткани.

Содержание хлорофиллов и каротиноидов оценивали по спектрам поглощения этанольных экстрактов из листьев опытных растений [19]. Анализ пигментов проводили с помощью спектрофотометра Pharmacia Biotech II. (Великобритания).

Для оценки действия биокомпоста на паразитические виды нематод (без учета влияния других трофических групп) был проведен лабораторный эксперимент на растениях томата, зараженных галловой нематодой. Условия выращивания растений описаны выше. Объектом изучения была седентарная нематода *M. incognita*, как одна из наиболее патогенных и адаптированных к паразитизму. Полуторамесячная рассада томатов восприимчивого гибрида F1 Гамаюн (индекс устойчивости к галловой нематоды ~30 %) была заражена *M. incognita* в количестве 500 личинок J2 на растение и одновременно обработана 0,5%-ным водным раствором биокомпоста. Контролем служили зараженные растения без добавления инсектокомпоста. Через 50 сут проводили учет биометрических показателей растений. С помощью микроскопа Carl Zeiss Stemi DV4 (Германия) оценивали зараженность

корневой системы томатов *M. incognita* (число галлов/г корня) и морфофизиологическое состояние нематод (размер самок и их плодовитость, численность половозрелых самок/см корня).

Вариационный и дисперсионный анализ проводили с помощью программы Statistica 8.

Результаты и обсуждение

Для определения оптимального способа внесения инсектокомпоста для выращивания растений были использованы 1%-ный сухой и 0,5; 0,75 и 1%-ные водные растворы. Независимо от способа обработки и концентрации, внесение компоста практически не вызывало фитотоксичности при выращивании газонной травы во время всего периода вегетации. Лишь внесение 1%-ного сухого компоста привело к задержке всхожести семян на трое суток. Однако, через 30 сут это ингибирование было не только преодолено, но и компенсировано, что может говорить об отложенном действии инсектокомпоста по мере его увлажнения и созревания в почве. Необходимо отметить, что в контроле, на момент окончания эксперимента (30 сут), наблюдали большое число отмирающих (пожелтевших) внешних листовых пластин во всех вазонах по сравнению с обработанными компостом растениями. В варианте с 1%-ным жидким компостом в двух вазонах из пяти также отмечали растения с большим числом желтых листьев. В остальных вариантах обработок компост позволил продлить жизнеспособность растений, что в условиях по каким-либо параметрам неблагоприятных для вегетации (например, недостаточная влажность воздуха или высокая загущенность) создает преимущества для развития растений. Растения, обработанные 0,5%-ным жидким компостом, значительно превосходили по массе контрольный вариант (табл. 1). Семена при этой обработке лучше всходили и на 6-е сутки растения заметно обгоняли в развитии контрольные.

Одними из важнейших показателей состояния растений во время вегетации являются содержание и соотношение фотосинтетических пигментов. Было проанализировано действие ряда обработок инсектокомпостом смеси газонной травы на фотосинтетическую активность растений при выращивании их в грунте, содержащем различные группы нематод.

Таблица 1 [Table 1]

Влияние инсектокомпоста на массу травостоя газонной травы на 30-е сутки при выращивании в почве с разнообразными эколого-трофическими группами нематод

[Influence of insect compost on the weight of lawn grass on the 30th day when grown in soil with various ecological-trophic groups of nematodes]

Вариант [Variant]	Масса травостоя, г [Weight of herbage, g]	Наличие желтых или сухих листьев в варианте, % [Presence of yellow or dry leaves in the variant, %]
Контроль [Control]	21,4±4,53	100
1%-ный сухой [1% dry]	21,7±4,28	20
1%-ный жидкий [1% liquid]	20,3±3,79	40
0,75%-ный жидкий [0.75% liquid]	21,9±2,29	0
0,5%-ный жидкий [0.5% liquid]	26,0±4,56	0

В растениях каротиноиды выполняют несколько важнейших для поддержания организма функций: светозащитную, светособирающую и структурную. В основном, на содержание каротиноидов существенное влияние оказывают длительность светового периода, интенсивность освещенности, водный режим и другие внешние факторы, а также возраст растений. Существенные колебания в содержании пигмента происходят по мере роста растений. Так, концентрация этих пигментов увеличивается, как правило, до фазы цветения, а в стареющем организме снижается.

Одним из факторов изменения пула фотосинтетических пигментов является использование удобрений; их применение существенно сказывается на количестве пигментов в растениях. Применение инсектокомпоста в 1%-ной концентрации независимо от формы внесения повлияло на увеличение каротиноидов; концентрации ниже не влияли на количество пигмента; оно осталось практически на уровне контроля (рис. 1).

Изменение концентрации фотосинтетических пигментов представляет собой очень динамичный процесс и связан с целым рядом физиологических процессов, происходящих в растениях. Интересно отметить, что возрастные необратимые процессы наблюдали, в основном, в контроле. Обработка растений 0,5%-ным компостом привела к существенному увеличению общей зеленой массы травяной смеси. Можно предположить, что интенсивные обменные процессы сказываются на динамике активности фотосинтетических пигментов, в том числе, на каротиноидах.

Обработка растений 1%-ным инсектокомпостом увеличила содержание не только каротиноидов (см. рис. 1, А), но и хлоропластных пигментов (см. рис. 1, Б, В, Г), что объясняется обеспеченностью растений основными элементами питания, способствуя увеличению содержания фотосинтетических пигментов. Поскольку фитопаразитические нематоды снижают поступление в корни необходимых для роста и развития веществ, внесение инсектокомпоста может компенсировать недостаток минерального питания. Следует отметить, что растения, обработанные жидким инсектокомпостом в концентрациях 0,5 и 0,75%, не успевали состариться к концу эксперимента. В этих вариантах отсутствовали желтые листовые пластины (см. табл. 1), несмотря на то что на момент окончания опыта изменений в содержании фотосинтетических пигментов в сравнении с контролем не отмечали.

В растениях каротиноиды выполняют несколько важнейших для поддержания организма функций: светозащитную, светособирающую и структурную. В основном, на содержание каротиноидов существенное влияние оказывают длительность светового периода, интенсивность освещенности, водный режим и другие внешние факторы, а также возраст растений. Существенные колебания в содержании пигмента происходят по мере роста растений. Так, концентрация этих пигментов увеличивается, как правило, до фазы цветения, а в стареющем организме снижается.

Одним из факторов изменения пула фотосинтетических пигментов является использо-

вание удобрений; их применение существенно сказывается на количестве пигментов в растениях. Применение инсектокомпоста в 1%-ной концентрации независимо от формы внесения повлияло на увеличение каротиноидов; концентрации ниже не влияли на количество пигмента; оно осталось практически на уровне контроля (рис. 1).

Изменение концентрации фотосинтетических пигментов представляет собой очень динамичный процесс и связан с целым рядом физиологических процессов, происходящих в растениях. Интересно отметить, что возрастные необратимые процессы наблюдали, в основном, в контроле. Обработка растений

0,5%-ным компостом привела к существенному увеличению общей зеленой массы травяной смеси. Можно предположить, что интенсивные обменные процессы сказываются на динамике активности фотосинтетических пигментов, в том числе, на каротиноидах.

Обработка растений 1%-ным инсектокомпостом увеличила содержание не только каротиноидов (см. рис. 1, А), но и хлоропластных пигментов (см. рис. 1, Б, В, Г), что объясняется обеспеченностью растений основными элементами питания, способствуя увеличению содержания фотосинтетических пигментов. Поскольку фитопаразитические нематоды снижают поступление в корни необходимых

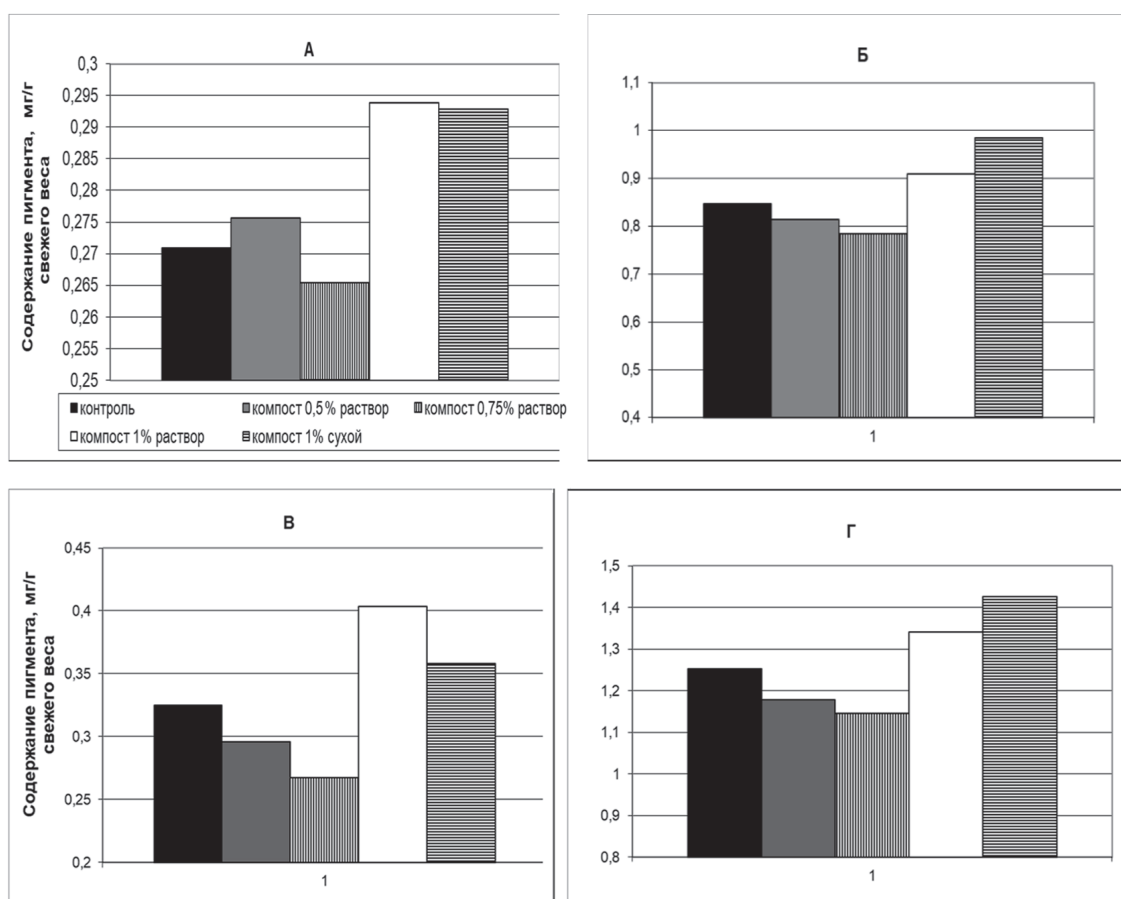


Рис. 1. Содержание фотосинтетических пигментов в растительной ткани злаков (мг/г свежей массы) на 30-е сутки выращивания растений в почве, содержащей различные эколого-трофические группы нематод и в зависимости от концентрации инсектокомпоста *U. dermestoides* и способа обработки им почвы:

А – каротиноидов (0,0211); Б – хлорофилла а (0,0630); В – хлорофилла б (0,0318);

Г – хлорофиллов а+б (0,1613) (НСР, $P \leq 0,05$)

[Fig. 1. The content of photosynthetic pigments in the plant tissue of cereals (mg/g fresh mass) on the 30th day of growing plants in soil containing various ecological-trophic groups of nematodes and depending on the concentration of *U. dermestoides* insectocompost and the method of treating the soil with it:

A – carotenoids (0.0211); B – chlorophyll a (0.0630); B – chlorophyll b (0.0318);

G – chlorophylls a+b (0.1613) (LSD, $P \leq 0.05$)]

для роста и развития веществ, внесение инсектокомпоста может компенсировать недостаток минерального питания. Следует отметить, что растения, обработанные жидким инсектокомпостом в концентрациях 0,5 и 0,75%, не успевали состариться к концу эксперимента. В этих вариантах отсутствовали желтые листовые пластины (см. табл. 1), несмотря на то что на момент окончания опыта изменений в содержании фотосинтетических пигментов в сравнении с контролем не отмечали.

Инсектокомпост содержит продукты жизнедеятельности и остатки насекомого, в которых содержится большое количество соединений с антиоксидантными свойствами. В их числе вителлогенинподобное соединение, которое может влиять на продолжительность жизни [17, 25]. Возможно, с присутствием этих метаболитов связано состояние растений в опытных вариантах.

Следующим этапом работы было исследование влияния инсектокомпоста на численность и видовой состав почвенных нематод. Популяции нематод являются хорошим индикатором состояния и степени трансформации почвенной экосистемы, поэтому изменения видовой структуры и численности отдельных систематических групп объясняются нарушениями в среде обитания [1, 24].

Использованная для эксперимента почва имела естественно-сложившуюся структуру сообщества нематод. В ней было обнаружено 22 вида из различных эколого-трофических групп (табл. 2). В 100 г полученной почвы (контроль 0 сут.) содержалось, в среднем, 625 экз.

нематод, из них бактериофаги – 41%, микофаги – 19%, полифаги – 11%, хищники – 3%, нематоды, ассоциированные с растением (АСР) – 24%, паразиты растений – 2% (табл. 3).

Общее число нематод в контроле через 30 сут незначительно возросло. Соотношение трофических групп осталось практически на прежнем уровне, но в 2 раза увеличилось число полифагов. При выращивании смеси газонных трав отмечены значительные количественные изменения нематод после внесения инсектокомпоста. На 30-е сутки после применения компоста существенно возросла общая численность нематод (в 1,5–2,2 раза в зависимости от обработки). Увеличение происходило, в основном, за счет бактериофагов, микофагов и полифагов; их численность возросла в зависимости от обработки в 2–2,5 раза, 1,3–2,8 и 2,4–3,2 раза, соответственно. Через 30 сут после применения 1%-ного сухого и жидкого компоста обнаружено, с одной стороны, значимое увеличение в абсолютных и относительных единицах хищных нематод, а с другой, существенное снижение (в 2 раза) в процентных соотношениях нематод АСР и паразитических при небольшом количественном снижении этих групп нематод по сравнению с контролем (0 и 30 сут).

Таким образом, полученные данные показали достаточно сильное влияние на численность и эколого-трофический состав почвенных нематод. Проведенный сравнительный анализ показал, что действие данного компоста отличается от инсектокомпоста, полученного с помощью личинок мухи черной львинки *H. illucens* [33], где общая числен-

Таблица 2 [Table 2]

Исходный состав нематод почвы для выращивания газонных трав
[The initial composition of soil nematodes for growing lawn grasses]

Трофическая принадлежность [Trophic affiliation]	Род и вид нематод [Genus and species of nematodes]
Бактериофаги [Bacteriophages]	<i>Acrobeles nanus</i> ; <i>Acroboloides butschlii</i> ; <i>Alaimus primitivus</i> ; <i>Cephalobus nanus</i> ; <i>Eucephalobus</i> spp.; <i>Eumonphistera filiformis</i> ; <i>E. similis</i> ; <i>Panagrolaimus rigidus</i> ; <i>Plectus palustris</i> ; <i>Prismatolaimus intermedius</i> ; <i>Rhabditis butschlii</i> ; <i>R. elongata</i>
Микофаги [Mycophages]	<i>Aphelenchoides parietinus</i> ; <i>A. saprofilus</i>
Полифаги [Polyphages]	<i>Aporcelaimellus obtusecaudatus</i> ; <i>A. pratensis</i> ; <i>Dorylaimus obtusecaudatus</i>
Хищники [Predators]	<i>Clarcus papillatus</i> ; <i>Mylonchulus</i> spp.
Ассоциированные с растением (АСР) [Plant associated (PA)]	<i>Coslenchus</i> spp.; <i>Filenchus filiformis</i>
Паразиты [Parasites]	<i>Helicotylenchus digonicus</i> ; <i>Paratylenchus</i> spp.; <i>Tylenchorynchus dubius</i>

Таблица 3 [Table 3]

Изменение эколого-трофического состава нематод через 30 сут после внесения в почву инсектокомпоста
[Changes in the ecological-trophic composition of nematodes when insect compost is added to the soil]

	Контроль, 0 сут [Control, 0 days]	Контроль, 30 сут [Control, 30 days]	Концентрация раствора вносимого в грунт компоста, % [Concentration of compost solution added to the soil, %]			
			0,5*	0,75*	1*	1**
Число нематод в 100 г почвы [Number of nematodes in 100 g of soil]	625	784	1286	975	1377	1095
Процентное соотношение [Percentage]						
Бактериофаги [Bacteriophages]	41	39	40	41	46	45
Микофаги [Mycophages]	19	14	15	16	24	23
Полифаги [Polyphages]	11	19	22	17	14	15
Хищники [Predators]	3	4	4	4	6	6
Ассоциированные с растением (АСР) [Plant associated (PA)]	23,8	21,8	18,3	20,5	9,2	9,7
Паразиты [Parasites]	2,2	2,2	0,7	1,5	0,8	1,3

Примечание. [Note]. * – водные растворы [aqueous solutions], ** – сухой раствор [dry compost]

ность нематод за такой же период времени возросла после применения инсектокомпоста в 40 раз и увеличение происходило за счет нематод-бактериофагов. При использовании инсектокомпоста *H. illucens*, количественный и качественный состав нематод менялся со степенью его вызревания. Когда на начальном этапе разложения преобладали нематоды, питающиеся бактериями, и полифаги, хищные нематоды доминировали на поздних стадиях разложения, а нематоды, питающиеся грибами, начинали преобладать над другими формами на наиболее зрелой стадии разложения [33]. Инсектокомпост *U. dermestoides* в высоких концентрациях вызвал образование большого количества микофагов и хищных нематод уже на 30-е сутки. По всей видимости, эти различия связаны с составом компостов. В составе инсектокомпоста *U. dermestoides* содержатся продукты жизнедеятельности этого насекомого, обладающие высокой биологической активностью, оказывающей влияние на различные аспекты жизнедеятельности организмов [9, 14, 21, 22, 27, 28, 34, 35].

Анализ относительного элементного состава экскрементов *U. dermestoides*, входящих в состав компоста, проведенный с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA3 LMN (Чехия), оснащенного системой энергодисперсионного анализа Oxford AZtecOne X-act (Великобритания) показал, что в экскрементах чернотелки содержится немного N, а соотношение C/N достаточно высокое – 16,5. Азот, в основном, представлен в растительных остатках пищевого субстрата жука.

В литературе имеются данные о том, что супрессивность почвы в отношении паразитических нематод снижается в случае высокого содержания N в компостах [30]. Так, при анализе почвы через 4 и 7 мес. после внесения в нее субстратов, богатых этим элементом, в том числе навоза из откормочных площадок, птичьего помета, хитина и отходов производства сахара, не наблюдали подавления *Meloidogyne javanica* или *Pratylenchus*

Таблица 4 [Table 4]

Влияние инсектокомпоста на биометрические показатели томатов, их заражение *M. incognita* и развитие нематоды в корнях[The effect of insect compost on the biometric parameters of tomatoes, their infection with *M. incognita* and the development of the nematode in the roots]

Вариант [Variant]	Масса корня, г [Root weight, g]	Масса стебля, г [Stem weight, g]	Балл заражения [Infection score]	Число галлов/г корня [Number of galls/g root]	Размер галлов, мм ² [Gall size, mm ²]	Размер самок, мм ² [Size of females, mm ²]	Число яиц в оотеке [Number of eggs in the ooteca]	Число самок на см корня [Number of females per cm of root]
0,5%-ный жидкий компост [0.5% liquid compost]	2,53	32	1,3	53	2,41	0,275	67	6
Контроль [Control]	2,18	25	2	115	3,44	0,270	63	28
НСР (P ≤ 0,05)	0,436	4,3	0,32	12,4	0,352	0,0133	8,4	5,7

zeae. Напротив, удобрения с гораздо более высоким отношением C/N, т. е. с высоким содержанием целлюлозы (опилки, остатки сахарного тростника и травяное сено) подавляли обе паразитические нематоды. Этот факт связывают с накоплением грибов, преобладанием всеядных нематод, а также созданием благоприятных условий для хищных грибов [30, 31]. Поскольку хищные гифомицеты и несколько родов базидиомицетов, разлагающих древесину, обычно встречаются в средах обитания, богатых целлюлозой и лигнином, полагают, что они развили способность получать дополнительный азот в средах с низким его содержанием, охотясь на нематод [8, 32]. Таким образом, внесение в почву добавок с высоким содержанием C/N создаёт условия для развития хищных грибов, питающихся любыми видами нематод независимо от их эколого-трофической принадлежности, в том числе паразитическими.

Проведенные исследования по изучению влияния инсектокомпоста на показатели зараженности и развития галловой нематоды показали, что при обработке грунта 0,5%-ным жидким инсектокомпостом (табл. 4) зараженность корневой системы значительно уменьшилось; балл заражения снизился в 1,5 раза, а число галлов на 1 г корня – в 2 раза при обработке растений. Средний размер галла при обработке был мельче контрольного на 30%. Размеры самок в контроле и опыте не различались, также как и число отложенных яиц в оотеку. Однако, число самок на 1 см корня было существенно меньше.

Внесение инсектокомпоста *U. dermestoides* насыщает почву большим количеством вторичных метаболитов, обладающих как анти-, так и прооксидантными свойствами, которые могут оказывать влияние на устойчивость растения, и непосредственно подавляя развитие галловой нематоды. Так, входящий в состав жука терпен лимонен обладает противонематодным действием [3, 18]. В экстрактах *U. dermestoides* содержится целый ряд фенольных соединений [20, 22], которые могут ингибировать паразитических нематод. Окислители могут вносить вклад в подавление паразитических нематод [10, 16], и/или подавлять образование галлов на корнях. *U. dermestoides* синтезируют разнообразные хиноны, которые обладают цитотоксическими и антибиотическими свойствами [14, 15]. Так, бензохиноны *U. dermestoides*, среди многочисленных специфических свойств, обладают способностью ингибировать злокачественную пролиферацию клеток у млекопитающих [12]. Возможно, с этими соединениями связано ингибирование галлообразования. Но необходимы дальнейшие исследования, чтобы подтвердить или опровергнуть данные предположения.

Заключение

Инсектокомпост *U. dermestoides* содержит в своем составе большое количество веществ органического про-

исхождения. Он насыщен разнообразными веществами специализированного обмена жука, которые характеризуется высоким показателем C/N, что отличает его от «классических» компостов. В результате проведенных исследований было показано, что данный инсектокомпост оказывает положительное влияние на морфофизиологические параметры растений, изменяет количественные и качественные показатели в сообществе почвенных нематод, заметно снижая долю фитопаразитических нематод. Проведенные исследования инсектокомпоста на модельной системе томаты-галловая нематода показали его ингибирующее действие на развитие паразита.

Таким образом, полученные данные позволяют рассматривать исследованный инсектокомпост в качестве средства, способствующего повышению плодородия почв, ингибирующего численность и развитие паразитических нематод, причиняющих огромный вред сельскохозяйственному производству. Дальнейшие углубленные исследования инсектокомпоста *U. dermestoides*, обладающего уникальным набором биологически активных соединений, возможно, позволят снизить применение препаратов химической защиты растений при выращивании сельскохозяйственных культур и достигнуть существенно экологического эффекта.

Список источников / References

1. Gruzdeva L. I., Matveeva E. M., Kovalenko T. E., Sushchuk A. A. Nematodes as indicators of the state and degree of changes in the soil ecosystem in the conditions of North-West Russia. *Advances in modern biology*. 2010; 130 (1): 100-112. (In Russ.)
2. Cherney L. S., Svalyavchuk L. I. Peculiarities of development of *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) (Coleoptera: Tenebrionidae) on compound feed used in broiler poultry farming and instant cereals. *Scientific evidence from the NUBP of Ukraine*. 2018; 71 (1): 16.
3. Abdel-Rahman F. H., Alaniz N.M., Saleh M.A. Nematicidal activity of terpenoids. *Journal of Environmental Science and Health B*. 2013; 48 (1): 16-22. <https://doi.org/10.1080/03601234.2012.716686>
4. Ahmad G., Khan A., Khan A. A., Ali A., Mohammad H. I. Biological control: a novel strategy for the control of the plant parasitic nematodes. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2021; 114: 885-912. <https://doi.org/10.1007/s10482-021-01577-9>
5. Assessment of soil biodiversity policy instruments in EU-27. Final report. February 2010. European Commission DG ENV. Bio Intelligence Service. 232.
6. Attygalle A. B., Blankespoor C. L., Meinwald J., Eisner T. Defensive secretion of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Chemical Ecology*. 1991; 17: 805-809.
7. Attygalle A. B., Xu S. C., Meinwald J. & Eisner T. Defensive secretion of the millipede *Floridobolus penneri*. *Journal of Natural Products*. 1993; 56: 1700-1706.
8. Barron G. L. Lignolytic and cellulolytic fungi as predators and parasites. In: Carroll G. C., Wicklow D. T. (eds) *The fungal community, its organization and role in the ecosystem*. Marcel-Decker, New York, 1992.
9. Cázares-Samaniego P. J., Castillo C. G., Ramos-López M. A., González-Chávez M. M. *Molecules*. 2021; 26 (20): 6311. <https://doi.org/10.3390/molecules26206311>.
10. Chitwood D. Phytochemical based strategies for nematode control. *Annual Review of Phytopathology*. 2002; 40: 221-249. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.032602.130045>
11. Christensen S., Griffiths B. S., Ekelund F., Ronn R. Huge increase in bacterivores on freshly killed barley roots. *FEMS Microbiology Ecology*. 1992; 86: 303-309.
12. Crespo R., Villaverde M. L., Girotti J. R. et al. Cytotoxic and genotoxic effects of defence secretion of *Ulomoides dermestoides* on A549 cells. *Journal of Ethnopharmacology*. 2011; 136: 204-209. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.04.056>
13. De Deyn G. B., Raaijmakers C.E., Zoomer H.R., et al. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*. 2003; 422: 711-713. <https://doi.org/10.1038/nature01548>
14. Deloya-Brito G. G., Deloya C. Substances produced by the beetle *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae): inflammatory and cytotoxic effect. *Acta Zoológica Mexicana*. 2014; 30 (3): 655-661. <https://doi.org/10.21829/azm.2014.30384>
15. Duarte S., Magro A., Tomás J. et al. Antifungal activity of benzoquinones produced by *Tribolium castaneum* in maize-associated fungi. *Insects*. 2022; 13 (10): 868. <https://doi.org/10.3390/insects13100868>
16. Hamaguchi T., Sato K., Vicente C. S. L. and Hasegawa K. Nematicidal actions of the marigold exudate α -terthienyl: oxidative stress-inducing compound penetrates nematode hypodermis. *Biology Open*. 2019; 8: bio038646. <https://doi.org/10.1242/bio.038646>
17. Kovalzon V. M., Ambaryan A. V., Revishchin A. V. et al. Preventive activity of the extract of the *Ulomoides dermestoides* darkling beetle in the

- diet of C57BL/6JSTO mice in a neurotoxic model of Parkinson's disease. Preprints (www.preprints.org) 2021, Distributed under a Creative Commons CC BY license. <https://doi.org/10.20944/preprints202105.0190.v2>
18. Leela N. K., Khan R. M., Reddy P. P., Nidiry E. S. J. Nematicidal activity of essential oil of *Pelargonium graveolens* against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Nematologia Mediterranea*. 1992; 20: 57–58.
 19. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987; 148: 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
 20. Mendoza M. D., Salgado Y. M., Durant I. L. Antioxidant capacity of whole-body methanolic extracts of the beetle *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1893). *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2013; 32 (4): 402–410.
 21. Mendoza M. D. L., Saavedra A. S. Chemical composition and anti-irritant capacity of whole-body extracts of *Ulomoides dermestoides* (Coleoptera, Tenebrionidae). *Vitae*. 2013; 20: 41–48. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.10994>
 22. Mendoza M. D. L., España-Puccini P. Cytotoxic and genotoxic activity of phenolic fractions from *Ulomoides dermestoides* (Fairmaire, 1893; Coleoptera, Tenebrionidae), in HaCat cells. *Tip revista especializada en ciencias químico-biológicas*. 2016; 19 (2): 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2016.06.001>
 23. Nahar M. S., Grewal P. S., Miller S. A. et al. Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties. *Applied Soil Ecology*. 2006; 34: 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.03.011>
 24. Neher D. A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*. 2001; 33 (4): 161–168.
 25. Nelson C. M., Ihle K. E., Fondrk M. K. et al. The Gene vitellogenin has multiple coordinating effects on social organization. *PLoS Biology*. 2007; 5: e62. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050062>
 26. Oka Y., Tkachi N., Shuker S. et al. Laboratory studies on the enhancement of nematicidal activity of ammonia-releasing fertilizers by alkaline amendments. *Nematology*. 2006; 8: 335–346. <https://doi.org/10.1163/156854106778493466>
 27. Pedrini N., Ortiz-Urquiza A., Huarte-Bonnet C. et al. Tenebrionid secretions and a fungal benzoquinone oxidoreductase form competing components of an arms race between a host and pathogen. *PNAS*. 2015; 112 (28): E3651–E3660 <https://doi.org/10.1073/pnas.1504552112>
 28. Santos R. C. V., Lunardelli A., Caberion E., Bastos C. M. A. Anti-inflammatory and immunomodulatory effects of *Ulomoides dermestoides* on induced pleurisy in rats and lymphoproliferation *in vitro*. *Inflammation*. 2009; 33: 173–179. <https://doi.org/10.1007/s10753-009-9171-x>
 29. Steel H., de la Pen˜a E., Fonderie P. et al. Nematode succession during composting and the potential of the nematode community as an indicator of compost maturity. *Pedobiologia*. 2010; 53(3): 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2009.09.003>
 30. Stirling G. R. Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: An Ecological Perspective, a Review of Progress and Opportunities for Further Research. In: Davies K., Spiegel Y. (Eds.) *Progress in Biological Control* (PIBC, V. 11), Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 2011; P. 1–38. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9648-8>
 31. Stirling G. R., Wilson E., Stirling A. M. et al. Amendments of sugarcane trash induce suppressiveness to plant-parasitic nematodes in sugarcane soil. *Australasian Plant Pathology*. 2005; 34: 203–211. <https://doi.org/10.1071/ap05022>
 32. Tzean S. S., Liou J. Y. Nematophagous resupinate basidiomycetous fungi. *Phytopathology*. 1993; 83: 1015–1020.
 33. Udalova Zh., Ushakova N., Butorina N., Zinovieva S. Influence of insectocomposts through *Hermetia illucens* larvae on nematodes of various ecological-trophic groups. *Research on Crops*. 2021; 22 (1): 150–157. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.049>
 34. Ushakova N. A. Brodsky E. S., Tikhonova O. V. et al. Novel extract from beetle *Ulomoides dermestoides*: A study of composition and antioxidant activity. *Antioxidants*. 2021; 10 (7): 1055. <https://doi.org/10.3390/antiox10071055>
 35. Ushakova N. A., Tikhonova O. V., Ambaryan A. V. et al. A protein antioxidant complex of a water extract of the larvae of black beetles *Ulomoides dermestoides*. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2022; 58: 147–152. <https://doi.org/10.1134/S0003683822100155>
 36. Villaverde M. L., Girotti J. R., Mijailovsky S. J., Pedrin N. & Juárez M. P. Volatile secretions and epicuticular hydrocarbons of the beetle *Ulomoides dermestoides*. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B: Biochemical and Molecular Biology*. 2009; 154 (4): 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2009.08.001>
 37. Yeates G.W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biol. Fertil. Soils*. 2003; 37: 199–210.
 38. Zhang X. K., Wu X., Zhang S. X. et al. Organic amendment effects on nematode distribution within aggregate fractions in agricultural soils. *Soil Ecology Letters*. 2019; 1 (3–4): 147–156. <https://doi.org/10.1007/s42832-019-0010-1>

Статья поступила в редакцию 23.04.2023; принята к публикации 12.02.2024

Об авторах:

Удалова Жанна Викторовна, ВНИИП – фил. ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН (117218, Москва, ул. Б. Черемушкинская, 28), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, Москва, Ленинский пр., 33), Москва, Россия, кандидат биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-8254-4495, zh.udalova@gmail.com

Буторина Наталья Николаевна, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, Москва, Ленинский пр., 33), Москва, Россия, кандидат биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-43022985, nbut@list.ru

Ушакова Нина Александровна, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, Москва, Ленинский пр., 33), Москва, Россия, доктор биологических наук, naushakova@gmail.com

Зиновьева Светлана Васильевна, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук» (119071, Россия, Москва, Ленинский пр., 33), Москва, Россия, доктор биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-0969-4569, zinovievas@mail.ru

Вклад соавторов:

Удалова Жанна Викторовна – разработка дизайна исследования и его проведение, анализ и интерпретация полученных данных, написание и подготовка статьи.

Буторина Наталья Николаевна – проведение исследований, анализ и интерпретация полученных данных.

Ушакова Нина Александровна – разработка дизайна исследования, проведение исследований, анализ и интерпретация полученных данных.

Зиновьева Светлана Васильевна – анализ и интерпретация полученных данных, написание статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted 23.04.2023; accepted for publication 12.02.2024

About the authors:

Udalova Zhanna V., VNIIP – FSC VIEV (28, Bolshaya Cheremushkinskaya st., Moscow, 117218), A. N. Severtsov institute of ecology and evolution of the Russian academy of sciences (33, Russia, Leninsky pr, Moscow, 119071), Moscow, Russia, PhD in biol. sc., ORCID ID: 0000-0002-8254-4495, zh.udalova@gmail.com

Butorina Natalia N., A. N. Severtsov institute of ecology and evolution of the Russian academy of sciences (33, Russia, Leninsky pr, Moscow, 119071), Moscow, Russia, PhD in biol. sc., ORCID ID: 0000-0002-43022985, nbut@list.ru

Ushakova Nina A., A. N. Severtsov institute of ecology and evolution of the Russian academy of sciences (33, Russia, Leninsky pr, Moscow, 119071), Moscow, Russia, Doctor of Biol. Sci., naushakova@gmail.com

Zinovieva Svetlana V., A. N. Severtsov institute of ecology and evolution of the Russian academy of sciences (33, Russia, Leninsky pr, Moscow, 119071), Moscow, Russia, Doctor of Biol. Sci., ORCID ID: 0000-0002-0969-4569, zinovievas@mail.ru

Contribution of co-authors:

Udalova Zhanna V. – development of the study design and its implementation, analysis and interpretation of the data obtained, writing and preparation of the article.

Butorina Natalia N. – conducting research, analyzing and interpreting the data obtained.

Ushakova Nina A. – developing a research design, conducting research, analyzing and interpreting the data obtained.

Zinovieva Svetlana V. – analysis and interpretation of the data obtained, writing the article.

The authors read and approved the final manuscript version.