

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1342-1354>



УДК 581.19:591.61: 631.53: 633.854.78:635.78

## **Эффективность экстракта зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения для микрозелени подсолнечника**

**© 2025. Я. В. Пухальский<sup>1</sup>✉, С. И. Лоскутов<sup>1</sup>, А. И. Осипов<sup>2</sup>,  
А. И. Якубовская<sup>3</sup>, В. Р. Турковская<sup>2</sup>, И. А. Каменева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН»,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

<sup>2</sup>ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

<sup>3</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,  
г. Симферополь, Российская Федерация

*Подбор питательной среды является одним из важных факторов, влияющих на урожайность и качество микрозелени. В эксперименте изучали возможность использования остатков жизнедеятельности личинок насекомых черной львинки – зоокомпоста черной львинки (ЗЧЛ) – в качестве органической добавки при выращивании микрозелени подсолнечника в условиях хемопоники. Схема опыта: контроль – фильтрованная вода; минеральное удобрение (1,5 мл/л); 1,0%-й водный экстракт ЗЧЛ (10 мл/л). Растения выращивали в пластиковых контейнерах в течение 7 суток в условиях закрытого гроубокса при интенсивной светокультуре и контролируемом микроклимате. Результаты показали, что добавка экстракта ЗЧЛ привела к увеличению высоты побегов подсолнечника на 20–23 % и позволила получить самый высокий урожай микрозелени – на 51 и 27 % больше по сухой массе, чем при выращивании в контроле и на минеральном фоне. Биохимический состав микрозелени варьировал в зависимости от варианта. По содержанию общего хлорофилла и фенолов, проростки, выращенные с добавлением экстракта ЗЧЛ, несколько уступали растениям, полученным на растворе минерального удобрения, однако отличались от них лучшим накоплением каротиноидов и снижением на 15 % содержанием нитратов. Как и в случае с минеральными удобрениями, на фоне внесения экстракта ЗЧЛ наблюдало увеличение суммарного накопления в микрозелени макроэлементов, особенно кальция. Экономический анализ подтвердил превосходство использования экстракта зоокомпоста: чистая прибыль на органике в 6,7 раза превышала показатели на минеральном фоне.*

**Ключевые слова:** *Helianthus annuus, Hermetia illucens, экстракт, биохимия*

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (темы № FGUS 2024-0010 и FGUS 2025-0005).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Осипов А. И., Якубовская А. И., Турковская В. Р., Каменева И. А. Эффективность экстракта зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения для микрозелени подсолнечника. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(6):1342–1354. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.6.1342-1354>

Поступила: 27.05.2025      Принята к публикации: 08.12.2025      Опубликована онлайн: 26.12.2025

## **Efficiency of black soldier fly zoocompost extract as an organic fertilizer for sunflower microgreens**

**© 2025. Jan V. Puhalsky<sup>1</sup>✉, Svyatoslav I. Loskutov<sup>1</sup>, Anatoly I. Osipov<sup>2</sup>,  
Alla I. Yakubovskaya<sup>3</sup>, Valeria R. Turkovskaya<sup>2</sup>, Irina A. Kameneva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, St. Petersburg,  
Russian Federation,

<sup>2</sup>Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russian Federation,

<sup>3</sup>Research Institute of Agriculture of the Crimea, Simferopol, Russian Federation

*The selection of a nutrient medium is one of the important factors affecting the yield and determining the quality of microgreens. During the experiment there was studied the possibility of using the remains of the life activity of black soldier fly larvae zoocompost (BSFLZ) as an organic supplement for growing sunflower microgreens under chemoponic conditions. The experimental design: control – filtered water; mineral fertilizer (1.5 ml/l); 1.0 % aqueous extract of BSFLZ (10 ml/l). Plants were grown in plastic containers for 7 days in a closed growbox under intensive light conditions and a controlled microclimate. The results showed that the addition of the BSFLZ extract increased sunflower shoot height by 20–23 % and resulted in the highest microgreens yield – 51 and 27 % higher in dry weight than growing in the control and mineral fertilizers. The biochemical composition of the microgreens varied depending on the treatment. In terms of total chlorophyll and phenol content, seedlings grown with the addition of the BSFLZ extract were slightly inferior to plants grown with a mineral fertilizer solution; however, they exhibited better carotenoid accumulation and a 15 % reduction in nitrate content. As with mineral*

*fertilizers, the addition of the BSFLZ extract increased the total accumulation of macronutrients, particularly calcium, in the microgreens. Economic analysis confirmed the superiority of using zoocompost extract: net profit on organic matter was 6.7 times higher than on mineral-based ones.*

**Keywords:** *Helianthus annuus, Hermetia illucens, extract, biochemistry*

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Scientific Center of Food Systems of the Russian Academy of Sciences (topics No. FGUS 2024-0010 and FGUS 2025-0005).

The authors thank the reviewers for their contributions to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors declared no conflict of interest.

**For citation:** Puhalsky Ya. V., Loskutov S. I., Osipov A. I., Yakubovskaya A. I., Turkovskaya V. R., Kameneva I. A. Efficiency of black soldier fly zoocompost extract as an organic fertilizer for sunflower microgreens. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East.* 2025;26(6):1342–1354. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1342-1354>

Received: 27.05.2025

Accepted for publication: 08.12.2026

Published online: 26.12.2026

Микрозелень – это функциональный суперпродукт XXI века, представляющий собой молодые ростки съедобных овощей, зелени и бобовых [1, 2]. Обычно их собирают через 7–21 дней после посева, на стадии появления первого настоящего листа. За последнее десятилетие интерес к микрозелени значительно возрос у городского населения, численность которого продолжает увеличиваться за счёт притока сельского населения. Связано это, в первую очередь, с экономическим фактором, т. к. благодаря простоте выращивания микрозелени в домашних условиях малообеспеченные слои населения могут сэкономить на покупке дорогостоящих органических продуктов в специализированных магазинах. Поскольку микрозелень содержит в 10–40 раз больше питательных элементов и биоактивных вторичных метаболитов, чем взрослые растения [3, 4, 5], включение ее в рацион способствует снижению риска развития авитаминоза и скрытого голода [6]. Кроме того, регулярное употребление простков различных культур избавляет организм от токсинов и способствует профилактике заболеваний у современного поколения, которые возникли из-за малоподвижного образа жизни, в постпандемийный период [7, 8]. Помимо обычных граждан, микрозелень привлекает внимание состоятельных людей и бизнесменов, которые ценят ее за эстетику и приятный вкус. Элитные рестораны используют молодые ростки как премиальные добавки (гарнir) и элементы декора при подаче деликатесов для гурманов. Украшенные таким образом блюда подаются как элемент высокой кухни, за который посетители готовы платить больше. Микрозелень популярна в кулинарии, а также среди спортсменов и вегетарианцев, которые в еде придерживаются тренда на здоровое питание.

Среди разнообразия видов микрозелени можно выделить подсолнечник обыкновенный (*Helianthus annuus* L.) – масличную культуру из семейства Астровые (*Asteraceae*). Несмотря на то, что молодые ростки являются хорошим источником природных антиоксидантов, имеющих пищевую и медицинскую значимость (флавоноиды, каротиноиды, фенольные кислоты) [9], большинство исследователей выращивают подсолнечник как декоративное растение до взрослого состояния. Поэтому биохимический состав микрозелени еще недостаточно хорошо изучен. Чаще всего микрозелень подсолнечника выращивают на твердой среде в комбинациях вермикулита, перлита, торфа, почвенной смеси и кокосового волокна. При этом дополнительные питательные вещества в субстрат обычно не вносят, что приводит к снижению урожайности и ухудшению качества продукции. Применение удобрений не всегда дает положительный результат. Так, в работе [10] было показано, что выращивание микрозелени подсолнечника на кокосовом субстрате с семью различными азотными удобрениями (моноаммонийфосфат, нитрат калия, нитрат кальция, сульфат аммония, нитрат аммония, мочевина и глютарат натрия) не увеличило сырую и сухую массу данной культуры, а также содержание органических пигментов. Таким образом, можно сделать предположение, что для проявления значимого эффекта требуется внесение раствора комплексного минерального удобрения.

Высокая рентабельность микрозелени, достигающая уровня 40–70 %, предсказуемо заинтересовала представителей агробизнеса. На месте заброшенных и промышленных объектов в городской черте всё больше стали создаваться предприятия по выращиванию зеленой продукции, где растения культиви-

рут на вертикальных сити-фермах в беспочвенной среде. Близость к конечному потребителю снижает углеродный след и логистические издержки при доставке, а отказ от использования почвы в системе значительно снижает риск от заболеваний и вредителей, что приводит к оздоровлению растений и уменьшению их потерь при хранении [11]. По мировым прогнозам ожидается, что валовой сбор микрозелени будет расти в период с 2020 по 2028 г. в среднем на 7,5 % в год, а ее стоимость с 1,7 млрд долларов в 2022 г. до 2,6 млрд дол-

ларов к 2029 г. [12, 13]. Распределение продаж данной культуры на текущий момент представлено на рисунке 1. Италия, США и Индия являются лидерами по исследованию микрозелени, на долю которых приходится почти 65 % от общего числа опубликованных научных статей в период с 2004 по 2024 г. [13, 14, 15]. При этом, если количество публикаций о микрозелени оставалось относительно низким до 2017 г., то начиная с 2018 г. оно заметно возросло с менее чем 10 статей в год до 100 к концу 2024 г.



*Рис. 1. Объем мирового рынка микрозелени по регионам в 2020 г. Самый темный цвет – наибольшая значимость рынка, самый светлый – наименьшая. Источник: М. Парашиву с соавт. (M. Paraschivu et al.) [12]*

*Fig. 1. Global microgreens market size by regions in 2020. The darkest color represents the highest market importance, and the lightest represents the lowest. Source: M. Paraschivu et al. [12]*

Необходимо отметить, что исследований, связанных с изучением использования нетрадиционных органических удобрений при выращивании микрозелени, пока недостаточно. Вместе с тем частичная замена минеральных удобрений органическими способствует повышению экологичности и снижению себестоимости конечной биомассы. Имеются результаты исследования по положительному влиянию экстрактов биогумуса красных червей и хлореллы [16], грибного компоста [17, 18], добавок фульвокислот [19] на формирование микрозелени различных культур.

Среди органических удобрений нового типа также можно выделить зоокомпост – продукт жизнедеятельности личинок синантропной мухи черная львинка (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), получаемый в процессе переработки (биоконверсии) насекомыми отходов 3-4-го класса опасности [20, 21]. По данным Н. Джалила и др. (N. Jalil et al.) [22], личинки

предпочитают белковые отходы углеводным. Данная технология замкнутого цикла является недорогой [23]. Идея использовать экскременты насекомых в качестве органического удобрения появилась относительно недавно. Проведенные исследования показали, что этот продукт соответствует стандартам качества, установленным для органических удобрений на основе отходов животноводства [24]. Ученые пришли к выводу, что экскременты *H. illucens* содержат значительно больше азота (на 20–130 %), фосфора (на 60–80 %) и калия (на 17–193 %) по сравнению с экскрементами других насекомых, в частности ширтоцерки (*Schistocerca gregaria*), тутового шелкопряда (*Bombyx mori*), полевого сверчка (*Scapsipedus icipe*) и мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) [25]. Общее содержание N варьирует от 0,8 до 5,1 %, P – от 0,8 до 2,5 % и K – от 0,2 до 4,1 % [26]. В целом соотношение N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O в удобрении из экскрементов черной львинки составляет 1,0:0,9:1,1 [27]. Основными

формами азота в продукте являются мочевая кислота, которая превращается в аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ), а затем в аммиак ( $\text{NH}_3$ ), который со временем улетучивается [28]. В экскрементах *H. illucens* всегда более низкое соотношение углерода к азоту, чем в исходном субстрате, что способствует быстрому усвоению эссенциальных элементов растениями [22, 29, 30]. Зоокомпост может заменить традиционные азотные удобрения, поскольку по своим питательным свойствам сопоставим с аммиачной селитрой ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) [31]. Кроме того, экскременты не накапливают в себе токсичные металлы и такие опасные вещества, как микотоксины или инсектициды [21, 29, 30]. Содержание органических веществ в зоокомпосте выше, чем в навозе и других видах компоста – до 84,9 % [27].

В настоящее время рынок зоокомпоста, хотя и имеет ограниченный экономический

потенциал, но ожидается, что в ближайшие несколько лет он будет быстро расти. Если в 2019 г. объём его мирового рынка составлял 128 млн долларов, то предполагается, что к 2030 г. он вырастет до 3,4–3,9 млрд долларов [32].

**Цель исследования** – изучить влияние водного экстракта зоокомпоста черной львинки на накопление биомассы микрозелени подсолнечника и ее биохимический состав.

**Научная новизна** – обогащение инертного субстрата жидким удобрением в виде экстракта из зоокомпоста *H. Illucens* для создания условий органической хемопоники и получения экологически чистой микрозелени подсолнечника.

**Материал и методы.** Эксперимент проводили в гроубоксе (60x40x40 см) при интенсивной светокультуре (рис 2). Для проращивания брали семена подсолнечника компании «Ильинские проростки».



*Рис. 2. Рост микрозелени подсолнечника в гроубоксе: 1 – контроль (вода); 2 – минеральное удобрение (1,5 мл/л); 3 – 1,0%-й экстракт зоокомпоста /*

*Fig. 2. Growing sunflower microgreens in a growbox: 1 – Control (water); 2 – Mineral fertilizer (1.5 ml/L); 3 – 1.0% zoocompost extract*

Температура воздуха во время проведения опыта составляла 23 °C при относительной влажности воздуха 70 %. Для повышения питательной ценности и терапевтического потенциала микрозелень подсолнечника рекомендуют выращивать под светодиодными лампами [33], поэтому источником освещения в опыте служила LED-панель белого света на 120 Вт

(24,0 тыс. люкс или 360 ммоль/ $\text{м}^2/\text{с}$  ФАР). Фотопериод составил 16ч/8ч – день/ночь. Срок вегетации – 7 суток. Предварительно замоченные на ночь семена в количестве 100 г равномерно раскладывали по пластиковым контейнерам (40x20 см) с верховым нейтрализованным торфом (ООО «Велторф», Россия), который предварительно увлажняли путем пролива

разведенной суспензией с pH 7,0, полученной из зоокомпоста, в концентрации 1,0 %. Выбор концентрации основан на наших ранних работах и публикациях других исследователей на гидропонике, а также на результатах по влиянию экстракта зоокомпоста на активность почвенной микрофлоры [34, 35, 36, 37].

Дополнительно был заложен вариант выращивания растений при внесении раствора трехкомпонентного минерального удобрения TriPart (Terra Aquatica, Франция). В качестве чистого контроля выступал вариант выращивания микрозелени с увлажнением субстрата фильтрованной водой. Рабочие растворы обоих типов удобрений вносили в субстрат разово при посеве семян. В дальнейшем влажность субстрата поддерживали весовым методом при поливе фильтрованной водой. Эксперимент повторяли три раза – каждый вариант по три повторности.

Исходный порошок зоокомпоста получали путем просеивания и высушивания экскрементов личинок *H. illucens*, выращенных на базе

лабораторного инсектария Всероссийского НИИ пищевых добавок (Санкт-Петербург). Биостимулирующий раствор изготавливали путем водной экстракции зоокомпоста при постоянном перемешивании суспензии с принудительной аэрацией в течение 8 часов с помощью верхнеприводной мешалки MICROSTAR 7.5 control (IKA, Германия) с дальнейшим настаиванием в течение 16 часов. Получившуюся суспензию отделяли от осадка зоокомпоста путем фильтрации (рис. 3).

Выбор данного временного режима и способа экстракции был обусловлен практичесностью при масштабировании технологического процесса и введении экстракта в поливную воду. Метод не требует специального оборудования или дополнительного использования химических реагентов, которые могут сдвинуть конечный уровень кислотности раствора. Данный метод также использовался в работах других исследователей [38]. Содержание биогенных элементов в суспензии оставалось стабильным до 48 часов [36].



**Рис. 3. Исходный порошок и суспензия зоокомпоста после экстракции и фильтрации /  
Fig. 3. Initial powder and suspension of zoocompost after extraction and filtration**

Известно, что состав зоокомпоста зависит от корма, которым питаются личинки [21, 26, 39, 40]. В нашем случае рацион личинок включал пшеничные отруби, что давало наибольший выход содержания общего азота (3,2–4,8 %) в зоокомпосте [41]. Соотношение C:N – 8:1–10:1.

Минеральный состав исходного порошка и вытяжки из зоокомпоста представлены

в таблице 1. Анализ проводили с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанный плазмой (ICP-AES) на оптическом спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). В целом содержание всех элементов в 1,0%-м экстракте суммарно было приближено к раствору минерального удобрения.

**Таблица 1 – Сравнительный элементный состав водного экстракта зоокомпоста черной львинки и раствора минерального удобрения, применяемых в опыте /**

**Table 1 – Comparative elemental composition of the aqueous extract of black soldier fly zoocompost and mineral fertilizer solution used in the experiment**

Элемент / Element	Сухой зоокомпост, мг/кг / Dry zoocompost, mg/kg	Раствор минерального удобрения, мг/л / Mineral fertilizer solution, mg/l	1,0%-й экстракт зоокомпоста, мг/л / 1.0% zoocompost extract, mg/l
Ba	19,6	0,20	0,02
Ca	5540,5	120,0	103,6
Cu	13,10	0,05	0,04
Fe	1095,1	2,5	1,7
K	9523,7	150,0	137,0
Li	1,50	0,02	0,01
Mg	3790,6	50,0	40,0
Mn	53,2	0,5	0,4
Mo	2,20	0,05	0,01
Na	1775,3	15,0	3,7
Ni	4,80	0,10	0,01
P	9933,8	50,0	72,1
S	1924,4	50,0	30,1
Sr	21,90	0,30	0,03
Zn	83,5	0,2	0,1

Общее содержание органического вещества в сухом зоокомпосте равнялось 82,8 % (ГОСТ 26213<sup>1</sup>), органического углерода – 43,2 % (ГОСТ Р 10694-2024<sup>2</sup>), общего азота – 1,8 % (ГОСТ Р 58596-2019<sup>3</sup>), гуминовых кислот – 9,8 % (по методике В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой<sup>4</sup>). В водной вытяжке (экстракте) зоокомпоста: органического углерода – 0,37 %; общего азота – 0,09 %; гуминовых кислот – 5,3 %.

По окончании эксперимента полученную биомассу проростков подсолнечника взвешивали, измеряли высоту побегов, сушили

при комнатной температуре и затем измельчали в порошок для дальнейшего биохимического анализа.

Содержание фотосинтетических пигментов в тканях листьев определяли фотоколориметрически на спектрофотометре UV-2700 (Shimadzu, Япония) при длинах волн 663 нм (OD663), 645 нм (OD645) и 470 нм (OD470) [42]. Концентрацию поглощения хлорофилла и каротиноидов выражали в мг на 100 г сырой массы с использованием формул [43]:

$$\text{Общий хлорофилл (Хл}_{\text{общий}}\text{)} = [(20,21 \cdot \text{OD}_{645} - 8,02 \cdot \text{OD}_{663})] * \left( \frac{\text{V}}{1000 \text{ W}} \right),$$

$$\text{Каротиноиды} = \left[ \left( \frac{(1000 \cdot \text{OD}_{470}) - (3,27 \cdot \text{Хл}_a) - (104,0 \cdot \text{Хл}_b)}{229} \right) \right] * \left( \frac{\text{V}}{1000 \text{ W}} \right),$$

где – значения 20,21; 8,02; 2,59; 12,72; 22,88; 4,67; 3,27 и 104,0 – коэффициенты экстинкции;

V – объем экстракционного раствора;

W – сырая масса побега.

<sup>1</sup>ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>

<sup>2</sup>ГОСТ 10694-2024. Качество почвы. Определение содержания органического и общего углерода после сухого сжигания (элементный анализ). М.: Российский институт стандартизации, 2024. 16 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/831/83172.pdf>

<sup>3</sup>ГОСТ Р 58596-2019. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726644.pdf>

<sup>4</sup>Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.

Количество флавоноидов измеряли фотоколориметрическим методом при длине волны 515 нм. Общее содержание фенолов определяли по методу П. Чутиманкула с соавт. (P. Chutimanukul et al.) [44]. Содержание нитрата измеряли в соответствии с методикой, описанной Д. А. Каталдо (D. A. Cataldo et al.) с использованием салициловой кислоты [45].

Анализ профиля накопления эссенциальных элементов в биомассе проводили в кислотной пробе после терморазложения растительных образцов на ICPE-9000 [46, 47]. Для каждого элемента строили градиурочную характеристику (в каждом случае  $r \geq 0,998$ ). В качестве стандартного раствора использовали многоэлементный раствор для ICP Sigma-Aldrich Merck (США).

Обработку полученных данных выполняли с использованием прикладной системы Excel 2016 (Microsoft Corp., США) с приме-

нением функций описательной статистики: расчет средних значений, стандартных отклонений, ошибки средних, значимости различий между вариантами.

**Результаты и их обсуждение.** Для микрозелени подсолнечника самая высокая сырья масса побегов в пересчете на 1 м<sup>2</sup> была зарегистрирована в варианте с внесением 1,0%-го экстракта зоокомпоста (табл. 2), прибавка к контролю составила около 5 %. Сухая масса побегов в этом варианте увеличилась на 51 и 27 % по сравнению с контролем и минеральной добавкой. Попарное сравнение t-тестом Стьюдента подтвердили статистически значимые различия между вариантами ( $p > 0,001$ ). На органике также отмечено увеличение высоты побегов подсолнечника на 20–23 %. На фоне минерального удобрения растения практически не отличались по биометрическим показателям от контроля.

**Таблица 2 – Влияние удобрительного фона на биометрические показатели микрозелени подсолнечника /  
Table 2 – The influence of fertilization on the biometric parameters of sunflower microgreens**

Вариант / Variant	Масса побегов, г/м <sup>2</sup> / Weight of shoots, g/m <sup>2</sup>		Высота побегов, см / Height of shoots, cm
	сырая / fresh	сухая / dry	
Контроль (вода) / Control (water)	3268,0±11,5	186,3±2,7	8,8±0,3
Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	3306,6±14,1	215,7±2,4	8,6±0,5
1,0%-й экстракт зоокомпоста / 1.0% zoocompost extract	3421,6±12,9	274,5±2,4	10,6±0,3

Изменения в урожае отразились на биохимическом составе микрозелени, за исключением накопления флавоноидов. Корреляционный анализ Пирсона показал отсутствие значимых различий между вариантами ( $r = 0,01$ ;  $p > 0,05$ ) (табл. 3). Фиксированные значения последних во всех вариантах указывают на генетическую детерминированность и низкую чувствительность подсолнечника к краткосрочному воздействию исследуемых режимов питания на ранней фазе вегетации. Их синтез, вероятно, запускается либо при наличии ярко выраженного стресса [48], либо на более поздних стадиях развития подсолнечника [49], особенно в соцветиях [50]. Внесение минерального удобрения повысило содержание общего хлорофилла и фенолов в биомассе, тогда как добавка экстракта зоокомпоста лучше сработала в отношении синтеза каротиноидов.

Умеренный синтез фенолов в варианте с экстрактом зоокомпоста указывает на форми-

рование сбалансированного антиоксидантного статуса растений без индукции стрессовых нагрузок как на минеральном фоне и синергии данного класса с накоплением каротиноидов. Уровни накопления нитратов во всех вариантах изменялись в пределах 386–514 мг/кг, что существенно ниже уровня СанПиН для культур открытого и закрытого грунта (табл. 3). Отдельного норматива на видовую микрозелень пока не существует. Этот результат согласуется с данными, полученными в другой работе, где исследование проводилось с использованием 17 видов микрозелени, принадлежащих к семи различным ботаническим семействам [51]. Стоит отметить, что внесение экстракта зоокомпоста немного снижало концентрацию NO<sup>3-</sup>, что очевидно связано с медленной минерализацией азота [52, 53]. Раствор минерального удобрения, напротив, увеличил содержание нитратов в зеленой биомассе.

**Таблица 3 – Биохимический состав и содержание нитратов в микрозелени подсолнечника при различных условиях выращивания /  
Table 3 – Biochemical composition and nitrate content in sunflower microgreens under different growing conditions**

<i>Вариант / Variant</i>	Общий хлорофилл, мг/100 г / Total chlorophyll, mg/100 g	Каротиноиды, мг/100 г / Carotenoids, mg/100 g	Флавоноиды, мг/г / Flavonoids, mg/g	Содержание нитратов, мг/кг / Nitrate content, mg/kg	Общее содержание фенолов, мг/г / Total phenol content, mg/g
Контроль (вода) / Control (water)	14,6±2,6	162,3±21,7	27,2±1,8	456,7±71,2	8,7±2,6
Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	16,4±1,2	186,1±43,7	27,1±3,7	513,9±54,5	17,6±1,1
1,0%-й экстракт зоокомпоста / 1.0% zoocompost extract	15,2±0,4	196,8±24,7	27,2±3,7	385,8±85,2	13,3±2,2

Примечание. Содержание нитратов оценивали исходя из их содержания в зеленных культурах (салаты, шпинат, щавель, капуста салатная, петрушка, сельдерей, кинза, укроп и т. д.) для открытого и защищенного грунта – 2000–3000 мг/кг<sup>5</sup>/

Notes: The nitrate content was estimated based on their content in green crops (lettuce, spinach, sorrel, cabbage, parsley, celery, cilantro, dill, etc.) for open and protected ground – 2000–3000 mg/kg<sup>5</sup>

Анализ аккумуляции макроэлементов выявил увеличение концентрации натрия, калия и кальция (табл. 4). Доля увеличения последнего была больше всех и в среднем по двум вариантам подкормок составила 64 %. В растениях транспорт ионов K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> и Na<sup>+</sup> происходит с участием одних и тех же белков, поэтому данные элементы могут проявлять эффекты синергизма или антагонизма. Особенno важен антагонизм между кальцием и магнием, поскольку они участвуют в одних и тех же процессах, но в итоге оказывают разное действие. В нашем случае оба типа удобрений равнозначно повысили содержание Ca без изменения концентрации Mg. Кальций играет важную роль в общем развитии растений, поскольку является структурным компонентом клеточной стенки, участвующим в регуляции ферментов и передаче сигналов при делении клеток. Отмечена умеренно положительная корреляция с сухой биомассой побегов ( $r=0,680$ ). Увеличение его концентрации может привести к повышению синтеза первичных продуктов фотосинтеза, таких как глюкоза и фруктоза. В микрозелени эти растворимые сахара отвечают за вкус. Из микроэлементов

отмечено увеличение концентрации цинка, ответственного за укрепление иммунной системы и устойчивости растений к стрессам, и марганца, связанного с синтезом хлорофилла. Оба элемента коррелировали с урожайностью ( $r = 0,45–0,52$ ).

В таблице 5 приведены данные, которые обосновывают экономическую выгоду от использования экстракта зоокомпоста в сравнении с раствором минерального удобрения (при пересчете на площадь пятиярусной гидрофермы (сити-фермы), равной 4,5 м<sup>2</sup>). Экономия за цикл роста (7 суток) составляет 32,4 руб. (59,0 %) в пользу применения экстракта зоокомпоста. Если рассчитать рентабельность, то при различной стоимости микрозелени подсолнечника 1500 руб/кг использование раствора минерального удобрения позволяет получить прибавку биомассы с такой фермы за один цикл роста 173,7 г, или 260,5 руб., а экстракта зоокомпоста – 691,2 г, или 1036,8 руб. За вычетом цены на удобрения чистая прибыль от выращивания микрозелени подсолнечника на растворе минерального удобрения составит 151,6 руб., а на экстракте зоокомпоста – 1014,3 руб. (+569,0 %,  $p>0,001$ ).

<sup>5</sup>СанПиН 42-123-4619-88. Санитарно-гигиенические нормы «Допустимые уровни содержания нитратов в продуктах растительного происхождения и методы их определения» от 30 мая 1988 года. [Электронный ресурс]. URL: [https://meganorm.ru/mega\\_doc/norm/normy/6/sanitarno-gigienicheskie\\_normy\\_dopustimye\\_urovni.html](https://meganorm.ru/mega_doc/norm/normy/6/sanitarno-gigienicheskie_normy_dopustimye_urovni.html) (дата обращения: 13.05.2025).

**Таблица 4 – Влияние удобрительного фона на содержание эссенциальных элементов в микрозелени подсолнечника, мг/100 г**

**Table 4 – The influence of fertilization on the content of essential elements in sunflower microgreens, mg/100 g**

Элемент / Element	Контроль (вода) / Control (water)	Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	1,0%-й экстракт зоокомпоста / 1.0% zoocompost extract
N	286,6±6,6	299,6±29,0	294,8±17,7
P	66,6±2,0	71,9±5,9	69,1±4,2
K	139,1±38,2	160,6±39,3	162,7±41,2
Ca	46,4±5,9	76,7±10,9	73,1±10,6
Mg	43,0±8,0	44,6±14,8	39,6±9,3
S	23,3±6,4	34,3±2,9	22,7±9,1
Na	4,3±0,8	5,9±1,6	4,8±1,2
Fe	3,8±3,0	3,6±0,8	4,7±2,5
B	0,9±0,6	1,3±0,1	1,3±0,4
Zn	3,0±2,8	10,5±1,0	7,8±1,4
Cu	0,7±0,6	1,8±0,1	1,6±0,4
Mn	2,0±1,6	9,1±1,0	6,5±1,2

**Таблица 5 – Сравнительная экономическая эффективность от использования раствора минерального удобрения и экстракта зоокомпоста при выращивании микрозелени подсолнечника на пятиярусной сити-ферме**

**Table 5 – Comparative economic efficiency of using a solution of mineral fertilizer and zoocompost extract in growing sunflower microgreens on a five-tier city farm**

Показатель / Indicator	Раствор минерального удобрения / Mineral fertilizer solution	Экстракт зоокомпоста / Zoocompost extract
Стоимость концентрата, руб/л / Cost of concentrate, ₽ / l	1628,0	10,0
Концентрация рабочего раствора / Concentration of working solution	1,5 мл на 1 л воды / 1.5 ml per 1 liter of water	1,0 %
Норма полива на сити-ферму, л / Irrigation rate per city farm, l	22,5	22,5
Расход удобрения на сити-ферму, мл / Fertilizer consumption per city farm, ml	33,75	2250,0
Итоговые затраты, руб. / Total costs, ₽	54,9	22,5
Чистая прибыль, руб / Net profit, ₽	151,6	1014,3
Рентабельность, % / Profitability, %	276,1	4508,0

**Заключение.** По итогу проведенного эксперимента можно сделать вывод, что применение 1,0%-го водного экстракта зоокомпоста *H. illucens* демонстрирует эффективность, сопоставимую с раствором минерального удобрения, а по отдельным биохимическим параметрам и показателям урожайности даже пре-восходит его. Позитивное воздействие экстракта, безусловно, определяется исходным рационом питания личинок, однако, в любом случае производимое сырьё оказывается экономически

выгоднее раствора минерального удобрения. Кроме того, неорганические удобрения преимущественно активизируют ростовые процессы, не вовлекая защитные системы растений. В отличие от этого, экстракт зоокомпоста индуцирует умеренный стресс, что стимулирует выработку защитных антиоксидантных соединений, таких как каротиноиды. Благодаря пролонгированному эффекту действия, обусловленному постепенным гидролизом компонентов и медленному высвобождению (минерализации)

азота, экстракт зоокомпоста оптимизирует питание в системе субстрат-растение, что снижает накопление нитратов и усиливает синтез вторичных метаболитов. Таким образом, сочетание экономической эффективности и комплексного воздействия на физиологию растений делает зоокомпост и экстракт из него перспективной альтернативой традиционным

агрохимикатам. Крупномасштабное производство зоокомпоста может быть ориентировано на местный рынок. Мелкие производители будут способны диверсифицировать свои источники дохода, а крупные коммерческие предприятия смогут расширяться и выходить на экспортные рынки.

#### **References**

1. Khan F. A., Dar Z. M., Dey P., Khan F. U., Amir M., Moinuddin K. D. et al. Microgreens: A New Class of Vegetable with Superfood Potential. *American Journal of Biomedical Science and Research.* 2024;24(1):577–579. DOI: <https://doi.org/10.34297/AJBSR.2024.24.003151>
2. Partap M., Sharma D., Deekshit H. N., Thakur M., Verma V., Bhargava B. Microgreen: A tiny plant with superfood potential. *Journal of Functional Foods.* 2023;107:105697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105697>
3. Gunjal M., Singh J., Kaur J., Kaur S., Nanda V., Sharma A., Rasane P. Microgreens: cultivation practices, bioactive potential, health benefits, and opportunities for its utilization as value-added food. *Food Bioscience.* 2024;62(1):105133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105133>
4. Lone J. K., Pandey R., Gayacharan. Microgreens on the rise: Expanding our horizons from farm to fork. *Heliyon.* 2024;10(4):e25870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25870>
5. Zhang Y., Xiao Z., Ager E., Kong L., Tan L. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods.* 2021;1(1):58–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>
6. Ilakiya T., Parameswari E., Davamani V., Prakash V. Microgreens – Combating Malnutrition Problem. *Biotica Research Today.* 2020;2(5):110–112.  
URL: [https://www.researchgate.net/publication/341976939\\_Microgreens\\_-Combacting\\_Malnutrition\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/341976939_Microgreens_-Combacting_Malnutrition_Problem)
7. Salisu M. A., Oyebamiji Y. O., Ahmed O. K., Shamsudin N. A., Fairuz Y. S. et al. A systematic review of emerging trends in crop cultivation using soilless techniques for sustainable agriculture and food security in post-pandemic. *AIMS Agriculture and Food.* 2024;9(2):666–692. DOI: <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024036>
8. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens-A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. *Molecules.* 2023;28(2):867. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28020867>
9. Guo S., Ge Y., Na Jom K. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). *Chemistry Central Journal.* 2017;11:95. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0328-7>
10. Hassama P., Sirinupong M., Ruangrak E. Comparing sources of nitrogen fertilizer on growth in sunflower microgreens. *Journal of Food Science and Agricultural Technology.* 2022;6(S):52–58. URL: [https://www.researchgate.net/publication/366400475\\_Comparing\\_Sources\\_of\\_Nitrogen\\_Fertilizer\\_on\\_Growth\\_in\\_Sunflower\\_Microgreens](https://www.researchgate.net/publication/366400475_Comparing_Sources_of_Nitrogen_Fertilizer_on_Growth_in_Sunflower_Microgreens)
11. Kumar, Varun T., Verma R. A Comprehensive Review on Soilless Cultivation for Sustainable Agriculture. *Journal of Experimental Agriculture International.* 2024;46(6):193–207. DOI: <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i62470>
12. Paraschivu M., Cotuna O., Sărăeanu V., Durău C. C., Păunescu R. A. Microgreens-current status, global market trends and forward statements. Scientific papers-series management economic engineering in agriculture and rural development. 2021;21(3):633–640. URL: [https://www.researchgate.net/publication/357839471\\_MICROGREENS -CURRENT\\_STATUS\\_GLOBAL\\_MARKET\\_TRENDS\\_AND\\_FORWARD\\_STATEMENTS](https://www.researchgate.net/publication/357839471_MICROGREENS -CURRENT_STATUS_GLOBAL_MARKET_TRENDS_AND_FORWARD_STATEMENTS)
13. Singh A., Singh J., Kaur S., Gunjal M., Kaur J., Nanda V. et al. Emergence of microgreens as a valuable food, current understanding of their market and consumer perception: A review. *Food Chemistry X.* 2024;23:101527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101527>
14. Ferreira M. E., Henschel J. M., Olivoto T., Batista D. S., Zeist A. R. Research on microgreens: a bibliometric analysis. *Vegetos.* 2024;37:1589–1601. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42535-023-00699-x>
15. Puent L., Char C., Patel D., Thilakarathna M. S., Roopesh M. S. Research Trends and Development Patterns in Microgreens Publications: A Bibliometric Study from 2004 to 2023. *Sustainability.* 2024;16(15):6645. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16156645>
16. Мельникова К. М. Влияние органических удобрений на развитие микрозелени. Научный журнал молодых ученых. 2025;(2(42)):20–24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82546909> EDN: JWDDAL  
Melnikova K. M. The effect of organic fertilizers on the development of microgreens. *Nauchny zhurnal molodikh uchenikh.* 2025;(2(42)):20–24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82546909>
17. Poudel P., Duenas A. E. K., Di Gioia F. Organic waste compost and spent mushroom compost as potential growing media components for the sustainable production of microgreens. *Frontiers in Plant Science.* 2023;14:1229157. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1229157>

18. Малишевский М. Р., Тарасов С. С., Михалев Е. В. Получение и исследование гидропонных кормов и микрозелени на основе экологически чистого органического удобрения. Основы и перспективы органических биотехнологий. 2020;(2):29–32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43859779> EDN: CMBPFB

Malishevsky M. R., Tarasov S. S., Mikhalev E. V. Production and research of hydroponic feeds and micro-green on the basis of ecologically pure organic fertilizer. *Osnovi i perspektivi organicheskikh biotekhnologii*. 2020;(2):29–32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43859779>

19. Пухальский Я. В., Воробьев Н. И., Лоскутов С. И., Чукаева М. А., Глушаков Р. И., Бабыка А. В., Мещеряков Д. Д., Якубовская А. И. Нейросетевой анализ влияния внешних факторов на микроэлементный профиль и биомассу микрозелени *Brassica juncea* L. Техника и технология пищевых производств. 2024;54(1):48–59. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2487> EDN: LDPNKY

Pukhalsky Ya. V., Vorobyov N. I., Loskutov S. I., Chukaeva M. A., Glushakov R. I., Babyka A. V., Meshcheryakov D. D., Yakubovskaya A. I. Neyrosetevoy analiz vliyaniya vnesennikh faktorov na mikroelementnyy profil i biomassu mikrozeleni *Brassica juncea* L. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevikh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(1):48–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-1-2487>

20. Пендерин Е. А., Рыбина С. Ю., Смоленская Л. М. Использование зоокомпоста Черной львинки в качестве органического удобрения. Аграрная наука. 2020;(7-8):106–110.  
DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110> EDN: QZHTPU

Pendyurin E. A., Rybina S. Yu., Smolenskaya L. M. Using the zoo compost of the Black Lioness as an organic fertilizer. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2020;(7-8):106–110. (In Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110>

21. Elissen H., van der Weide R., Gollenbeek L. Effects of Black Soldier Fly Frass on Plant and Soil Characteristics: A Literature Overview. 2023;527:913–996. DOI: <https://doi.org/10.1874/587213>

22. Jalil N., Abdullah S., Ahmad I., Basri N., Mohamed Z. Decomposition of food waste from protein and carbohydrate sources by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. Journal of Environmental Biology. 2021;42:756–761. DOI: [https://doi.org/10.22438/jeb/42/3\(SI\)/JEB-04](https://doi.org/10.22438/jeb/42/3(SI)/JEB-04)

23. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N. K., Fiaboe K. K., Nakimbugwe D., Khamis F. M. et al. Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly. Waste Management. 2021;119:183–194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.09.043>

24. Пендерин Е. А., Здоровцов В. А., Рыбина С. Ю., Святченко А. В. Агрохимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого Черная львинка. Агротехнический вестник. 2024;(3):59–62.  
DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-010> EDN: ATGUIC

Pendyurin E. A., Zdorovtsov V. A., Ribina S. Yu., Svyatchenko A. V. Agrochemical characteristics of zoocompost black soldier fly larvae. *Agrokhimichesky vestnik* = Agrochemical Herald. 2024;(3):59–62. (In Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-010>

25. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N., Menale K., Muriithi B., Kidoido M. et al. Economic and ecological values of frass fertiliser from black soldier fly agro-industrial waste processing. Journal of Insects as Food and Feed. 2022;8(3):245–254. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0013>

26. Lopes I. G., Yong J. W., Lalander C. Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. Waste Management. 2022;142:65–76.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.007>

27. Gärtling D., Schulz H. Compilation of black soldier fly frass analyses. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2022;22:937–943. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00703-w>

28. Green T. R., Popa R. Enhanced ammonia content in compost leachate processed by black soldier fly larvae. Applied Biochemistry and Biotechnology. 2012;166:1381–1387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9530-6>

29. Sarpong D. E., Odum-Kwarteng S., Gyasi S. F., Buamah R., Donkor E., Awuah E., Baah M. K. Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) larvae. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2019;8(4):45–54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0268-4>

30. Basri N. E. A., Azman N. A., Ahmad I. K., Suja F., Jalil N. A. A., Amrul N. F. Potential applications of frass derived from black soldier fly larvae treatment of food waste: A review. Foods. 2022;11(17):2664.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11172664>

31. Schmitt E., de Vries W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. 2020;25:100335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.005>

32. Siddiqui S. A., Gadge A. S., Hasan M., Rahayu T., Povetkin S. N., Fernando I., Castro-Muñoz R. Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer – A systematic review. Environment, Development and Sustainability. 2024;26:30273–30354.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04673-8>

33. Subramaniam S., Chew H. L. A Review of The Effects of Light-Emitting Diodes (LEDs) on The Growth of Sunflower Microgreens and Their Nutritional Potential. Malaysian Applied Biology. 2024;53(5):1-13.  
DOI: <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v53i5.3033>

34. Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Сидорова В. Р., Якубовская А. И., Мещеряков Д. Д., Каменева И. А. Использование гермикомпоста *Hermetia illucens* в технологии выращивания микрозелени бобовых культур. Аграрная наука. 2024;(4):101–107. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107> EDN: CFKHLA  
Puhalsky J. V., Loskutov S. I., Sidorova V. R., Yakubovskaya A. I., Meshcheryakov D. D., Kameneva I. A. Use of *Hermetia illucens* hermicompost in the technology of growing legume microgreens. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2024;(4):101–107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107>
35. Шинкарев С. М., Аксенов С. И., Тарасов С. И. Применение зоогумуса в качестве органического удобрения в защищенном грунте. Плодородие. 2008;(4):17–18.  
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12799669> EDN: KUCMFP  
Shinkarev S. M., Aksenov S. I., Tarasov S. I. Application of zoohumus as organic fertilizer in the protected ground. *Plodorodie*. 2008;(4):17–18. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12799669>
36. Romano N., Powell A., Islam S., Fischer H., Renukdas N., Sinha A. K., Francis S. Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: effects on the production and composition of sweet potato slips and sweet banana peppers. Aquaculture. 2022;555:738160.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738160>  
37. Fuhrmann A., Wilde B., Conz R. F., Kantengwa S., Konlambigue M., Masengesho B. et al. Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. Frontiers in Microbiology. 2022;13:994091. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994091>  
38. Chavez M. Y., Villa Ignacio A., Craver J. K., Bousselot J. Investigating Black Soldier Fly Larval (*Hermetia illucens*) Frass Applications as a Partial Peat Replacement and Liquid Fertilizer in Brassicaceae Crop Production. Agrochemicals. 2025;4(2):8. DOI: <https://doi.org/10.3390/agrochemicals4020008>  
39. Surendra K., Tomberlin J. K., van Huis A., Cammack J. A., Heckmann L.-H. L., Khanal S. K. Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF) Waste management. 2020;117:58–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>  
40. Scala A., Cammack J. A., Salvia R., Scieuza C., Franco A., Bufo S. A. et al. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. Scientific Reports. 2020;10(1):19448. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76571-8>  
41. Song S., Ee A. W. L., Tan J. K. N., Cheong J. C., Chiam Z., Arora S. et al. Upcycling food waste using black soldier fly larvae: Effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential. Journal of Cleaner Production. 2020;288:125664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125664>  
42. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001;1(1):F4.3.1–F4.3.8.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>  
43. Gu D. D., Wang W. Z., Hu J. D., Zhang X. M., Wang J. B., Wang B. S. Nondestructive determination of total chlorophyll content in maize using three-wavelength diffuse reflectance. Journal of Applied Spectroscopy. 2016;83:541–547. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10812-016-0325-y>  
44. Chutimanukul P., Wanichananan P., Janta S., Toojinda T., Clive D., Kriengkrai M. The influence of different light spectra on physiological responses, antioxidant capacity and chemical compositions in two holy basil cultivars. Scientific Reports. 2022;12:588. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04577-x>  
45. Cataldo D. A., Haroon M., Schrader L. E., Youngs V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1975;6(1):71–86.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/00103627509366547>  
46. Senila M. Recent Advances in the Determination of Major and Trace Elements in Plants Using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. Molecules. 2024;29(13):3169.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29133169>  
47. Yener I. Trace element analysis in some plants species by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). Journal of the Institute of Science and Technology. 2019;9(3):1492–1502.  
DOI: <https://doi.org/10.21597/jist.517739>  
48. Ma D., Guo Y., Ali I., Lin J., Xu Y., Yang M. Accumulation characteristics of plant flavonoids and effects of cultivation measures on their biosynthesis: A review. Plant Physiology and Biochemistry. 2024;215:108960.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108960>  
49. Gai F., Karamać M., Janiak M. A., Amarowicz R., Peiretti P. G. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Plants at Various Growth Stages Subjected to Extraction—Comparison of the Antioxidant Activity and Phenolic Profile. Antioxidants. 2020;9(6):535. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9060535>  
50. Sharma B. An analyses of flavonoids present in the inflorescence of sunflower. Brazilian Journal of Botany. 2019;42:421–429. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-019-00552-z>  
51. Di Gioia F., Hong J. C., Pisani C., Petropoulos S. A., Bai J., Rosskopf E. N. Yield performance, mineral profile, and nitrate content in a selection of seventeen microgreen species. Frontiers in Plant Science. 2023;14:1220691.  
DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1220691>

52. Beesigamukama D., Mochoge B., Korir N., Ghemoh C. J., Subramanian S., Tanga C. M. In situ nitrogen mineralization and nutrient release by soil amended with black soldier fly frass fertilizer. *Scientific Reports.* 2021;11(1):14799. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94269-3>

53. Gutser R., Ebertseder T., Weber A., Schraml M., Schmidhalter U. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 2005;168(4):439–446. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200520510>

**Сведения об авторах**

✉ **Пухальский Ян Викторович**, научный сотрудник лаборатории структурной переработки биоресурсов, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН», Литейный пр., 55, г. Санкт-Петербург, 191014, Российская Федерация, e-mail: [vniipakk55@mail.ru](mailto:vniipakk55@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>, e-mail: [puhalskyyan@gmail.com](mailto:puhalskyyan@gmail.com)

**Лоскутов Святослав Игоревич**, кандидат с.-х. наук, заведующий лаборатории промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН», Литейный пр., 55, г. Санкт-Петербург, 191014, Российская Федерация, e-mail: [vniipakk55@mail.ru](mailto:vniipakk55@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

**Осипов Анатолий Иванович**, доктор с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский просп., д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Российская Федерация, e-mail: [office@agophys.ru](mailto:office@agophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

**Якубовская Алла Ивановна**, кандидат биол. наук, заведующая отделом сельскохозяйственной микробиологии, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, 295453, Российская Федерация, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

**Турковская Валерия Романовна**, инженер-исследователь, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский просп., д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Российская Федерация, e-mail: [office@agophys.ru](mailto:office@agophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8854-0461>

**Каменева Ирина Алексеевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, 295453, Российская Федерация, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3914-7184>

**Information about the authors**

✉ **Jan V. Puhalsky**, researcher, the Laboratory of Structural Processing of Bioresources, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center of Food Systems of RAS, Liteiny Ave., 55, St. Petersburg, 191014, Russian Federation, e-mail: [vniipakk55@mail.ru](mailto:vniipakk55@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>, e-mail: [puhalskyyan@gmail.com](mailto:puhalskyyan@gmail.com)

**Svyatoslav I. Loskutov**, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center of Food Systems of RAS, Liteiny Ave., 55, St. Petersburg, 191014, Russian Federation, e-mail: [vniipakk55@mail.ru](mailto:vniipakk55@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

**Anatoly I. Osipov**, DSc in Agricultural Science, professor, chief researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky Prospekt, 14, St. Petersburg, 195220, Russian Federation, e-mail: [office@agophys.ru](mailto:office@agophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

**Alla I. Yakubovskaya**, PhD in Biological Science, Head of the Department of Agricultural Microbiology, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, 295453, Russian Federation, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

**Valeria R. Turkovskaya**, research engineer, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky Prospekt, 14, St. Petersburg, 195220, Russian Federation, e-mail: [office@agophys.ru](mailto:office@agophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8854-0461>

**Irina A. Kameneva**, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Physiology and Ecology of Microorganisms, Research Institute of Agriculture of Crimea, Kyiv St., 150, Simferopol, 295453, Russian Federation, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3914-7184>

✉ – Для контактов / Corresponding author