

## Влияние режима питания на антиоксидантную активность микрозелени базилика

С. И. Лоскутов<sup>1</sup>, Я. В. Пухальский<sup>1✉</sup>, А. И. Якубовская<sup>2</sup>, И. А. Каменева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ВНИИ пищевых добавок - филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

✉ E-mail: [puhalskyan@gmail.com](mailto:puhalskyan@gmail.com)

**Аннотация.** На смену минеральным солям для гидропоники в среде сити-фермеров все большую популярность набирает применение жидких органических добавок в виде экстрактов из различных источников органического сырья. По типу сельского хозяйства открытого грунта здесь также экспериментируют с различными дозами вытяжек, полученными из вермикомпоста, птичьего помета, навоза КРС, свиней и овец. Однако еще мало внимания уделено зоогумусу – новому виду органического удобрения, исходным сырьем при производстве которого служат продукты жизнедеятельности насекомого черная львинка (*Hermetia illucens*). Целью настоящей работы была сравнительная оценка формирования биомассы и синтеза антиоксидантных соединений в микрозелени базилика, выращенной с использованием однократной обработки питательной подложки минеральными удобрениями и жидким (0,5-процентным щелочным) экстрактом зоогумуса. **Методология и методы исследования.** Опыт проводили в условиях полной светокультуры и хемопоники в закрытом гроубоксе. По истечении 20 суток роста полученную сырую биомассу из каждого лотка срезали и взвешивали. Биохимический анализ проводили согласно разработанным методиками по ГОСТ. **Результаты** проведенных исследований показали, что самые высокорослые растения получились на варианте с применением зоогумуса. При этом по весу они уступали варианту с минеральными добавками на 20 %. Самые низкие показатели биометрии, как и ожидалось, были на контроле. Увеличение роста и накопление белковой биомассы также сказалось на повышении синтеза хлорофилла и аскорбиновой кислоты. Средние значения обоих показателей на минеральной среде были на 11 % выше контроля, тогда как на органике эта величина равнялась 22 %. По субъективному мнению авторов, обработка органикой никак не повлияла на вкусовые качества растений в сравнении с минеральными добавками. **Научная новизна.** Факт увеличения доли накопления витамина С и зеленых пигментов в биомассе доказывает эффективность применения нового типа органического удобрения в качестве возможной альтернативы при выращивании культуры на микрозелень в условиях вертикального земледелия.

**Ключевые слова:** микрозелень, базилик, зоогумус, *Hermetia illucens*, аскорбиновая кислота, хлорофилл

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2024-0010 и FGUS 2022-0018).

**Для цитирования:** Лоскутов С. И., Пухальский Я. В., Якубовская А. И., Каменева И. А. Влияние режима питания на антиоксидантную активность микрозелени базилика // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 264–277. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-264-277>.

**Дата поступления статьи:** 30.07.2024, **дата рецензирования:** 20.11.2024, **дата принятия:** 29.11.2024.

## Influence of nutrient mode on the antioxidant activity of basil microgreens

S. I. Loskutov<sup>1</sup>, Ya. V. Pukhalskiy<sup>1✉</sup>, A. I. Yakubovskaya<sup>2</sup>, I. A. Kameneva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

✉E-mail: puhalskiyan@gmail.com

**Abstract.** In place of mineral salts for hydroponics, the use of liquid organic additives in the form of extracts from various sources of organic raw materials is becoming increasingly popular among city farmers. In the open-ground agriculture type, they also experiment with different doses of extracts obtained from vermicompost, poultry manure, cattle, pig and sheep manure. However, little attention has been paid to zoohumus, a new type of organic fertilizer produced using the waste products of the black soldier fly (*Hermetia illucens*). **The purpose** of this work was to compare the formation of biomass and the synthesis of antioxidant compounds in basil microgreens grown using a single treatment of the nutrient substrate with mineral fertilizers and liquid (0.5 % alkaline) zoohumus extract. **Methodology and research methods.** The experiment was carried out under conditions of full light culture and chemoponics, in a closed growbox. After 20 days of growth, the obtained raw biomass from each tray was cut and weighed. Biochemical analysis was carried out according to the developed methods according to GOST. **The results** of the studies showed that the tallest plants were obtained in the variant with the use of zoohumus. At the same time, by weight they were inferior to the variant with mineral additives by 20 %. The lowest biometric indicators, as expected, were in the control. Increased growth and accumulation of protein biomass also affected the increase in the synthesis of chlorophyll and ascorbic acid. The average values of both indicators grown on a mineral medium were 11 % higher than the control, while on organic matter this value was 22 %. In the subjective opinion of the authors, organic treatment did not affect the taste of plants in any way, compared to mineral additives. **Scientific novelty.** The fact of increasing the share of accumulation of vitamin C and green pigments in biomass proves the effectiveness of using a new type of organic fertilizer as a possible alternative when growing microgreen crops in vertical farming conditions.

**Keywords:** microgreen, *Ocimum basilicum*, zoohumus, *Hermetia illucens*, ascorbic acid, chlorophyll

**Acknowledgements.** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topics FGUS 2024-0010 and FGUS 2022-0018).

**For citation:** Loskutov S. I., Pukhalskiy Ya. V., Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A. Influence of nutrient mode on the antioxidant activity of basil microgreens. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 264–277. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-264-277>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 30.07.2024, **date of review:** 20.11.2024, **date of acceptance:** 29.11.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

В последние годы наблюдается рост численности городского населения по сравнению с сельским. По оценке Росстата, на 1 января 2021 года в Российской Федерации проживало 146,2 млн чел., в том числе почти 75,0 % в городах [1; 2]. В связи с урбанизацией населения остро стоит вопрос относительно обеспечения жителей мегаполисов качественными продуктами питания. Из-за невозможности предоставления муниципальными властями всем желающим личных земельных наделов или подсобных хозяйств (ЛПХ) в черте города все большее развитие получило сити-фермерство. Популярность данного направления прежде всего связана с тем, что без больших материальных вложений любой горожанин может сконструировать

у себя в квартире, офисе или гараже небольшую многоярусную фитоустановку, где в условиях вертикального земледелия при использовании метода полной гидропоники или ее разновидностей способен выращивать молодые побеги зеленых овощей (бэби-лист) или микрозелень. Беспочвенные методы выращивания растений в закрытых городских помещениях на нейтральных гипоаллергенных субстратах решают проблему ограничения доступного пространства и наличия плодородной земли [3]. Несомненно, сити-фермер – это профессия будущего.

Благодаря короткому циклу роста (7–20 дней) микрозелень можно производить без использования пестицидов. Отказ от почвы снижает риск заражения патогенами и микотоксинами. Едят микрозелень, как правило, в сыром виде. Особенно важно

отметить тот факт, что для многих слоев населения, особенно для малоимущих, микрозелень становится единственным источником укрепления своего здоровья и снижения рисков развития авитаминоза. При этом они могут производить пищу не только для себя, но и на продажу. Доказано, что процесс выращивания микрозелени весьма рентабелен [4]. Рыночная стоимость готового продукта в 5–11 раз превышает затраты на его производство.

Помимо частного, данное направление привлекло внимание предприятий мировой пищевой промышленности. На 2019 год крупным поставщиком микрозелени в данном секторе экономики являлись США. За ними следовали Канада и Мексика, при этом в Соединенных Штатах сегмент выращивания микрозелени был сильно фрагментирован. Ожидается, что к 2027 году ее производство здесь вырастет в среднем на 10,1 %, тогда как в мире этот показатель составит 7,5 %. Таким образом, по мнению маркетологов, микрозелень перестанет быть исключительно модным трендом и в скором времени перейдет на более обширную целевую аудиторию [5–7]. Уже сейчас этот продукт входит в рацион здорового питания спортсменов и вегетарианцев.

Помимо сити-ферм, выращивание микрозелени в крупных объемах вблизи городов или в его черте можно проводить на современном оборудовании закрытого типа, по типу фитотронов или синерготронов [8–10], позволяющих модулировать значения микроклимата и энерго-спектрального режима инсоляции рабочей зоны. Направленное управление процессом вегетации позволяет сокращать сроки вегетации и круглогодично получать урожаи экологически чистой продукции с повышенным содержанием биологически активных соединений, обладающих антиоксидантной активностью [11; 12]. Среди последних можно выделить аскорбиновую кислоту и хлорофилл [13].

Среди маргинальных культур отмечается микрозелень базилика (*Ocimum basilicum* L.) – однолетняя ароматическая культура из семейства яснотковые (*Lamiaceae*). Цикл его роста хотя и превышает показатель для других культур, а также затраты на теплоэлектроэнергию, однако стоимость конечного лотка может быть в 2–3 раза выше другой микрозелени, особенно в зимнее время. В зависимости от вида и сорта эфирное масло базилика содержит широкий спектр вторичных метаболитов с различной антиоксидантной активностью.

Для успешной интеграции микрозелени в глобальный производственный цикл необходимо оптимизировать систему ее выращивания в условиях закрытого грунта. Решающую роль играет сокращение сроков получения зеленой биомассы без ущерба в нужных объемах и нужной питательной ценности. Для повышения конкурентоспособности необходимо искать методы по снижению ее себе-

стоимости и увеличению экологичности. Именно экологичность стала предметом современных исследований.

В гидропонике микрозелень базилика возможно выращивать на обычной воде, однако в связи с возросшим спросом на получение лекарственного и пищевого сырья из ароматических растения для повышения их урожайности и извлечения функциональных компонентов необходимо вносить подкормки. Особенно важно это, если планируется выращивание побегов под многократный срез. Для этих целей в настоящее время в практике широко используются химические удобрения и неорганические стимуляторы роста. Вместе с тем в среде сити-фермеров на замену минеральным (синтетическим) удобрениям приходит использование различных органических добавок. По типу сельского хозяйства открытого грунта здесь также используют вытяжки традиционных удобрений: жидкие экстракты птичьего помета, навоза крупного рогатого скота, свиней и овец [14–18]. Однако еще мало внимания уделено зоогумусу (BSFFF) [19] – вторичному продукту, получаемому в результате жизнедеятельности насекомых черной львинки (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), в процессе переработки ими отходов III–IV класса опасности. Данный метод переработки не похож ни на какой другой способ утилизации. С его использованием органические остатки не подвергаются обязательному механическому измельчению. Личинки *H. Illucens* сами измельчают их на практически одинаковые мелкие частицы в процессе их потребления в качестве источника пищи и переваривания. По содержанию биогенных элементов зоогумус не уступает сухому птичьему помету и вермикомпосту.

Экстракт зоогумуса может превосходить синтетические удобрения, поскольку он содержит как макроэлементы, так и микроэлементы, тогда как синтетические удобрения содержат только макроэлементы. Исследования показывают, что зоокомпост *H. Illucens* соответствует стандартам качества, установленным ГОСТ<sup>1, 2</sup> для продукции органического производства и удобрений и на основе отходов животноводства [20]. Он также является почвенным кондиционером и улучшает ее влагоудерживающую способность [21]. Помимо этого, он влияет на фитосанитарное состояние почвенной экосистемы. Было показано, что внесение экстрактов зоогумуса приводит к полной элиминации всех мицелиальных фитопатогенных грибов, включая плесень [22]. Из минусов можно выделить, что экскременты насекомых содержат хитин. Растения содержат ферменты,

<sup>1</sup> ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2020. 18 с.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2020. 18 с.

которые могут переваривать данный полимер, однако их активация также приводит к проявлению защитных реакций. Поэтому органические добавки, содержащие хитин, который не был разложен посредством компостирования или гидролиза в щелочной или кислой реакции среды, могут быть вредны для здоровья и жизнеспособности растений. Хитин также может быть почти полностью минерализован почвенными микроорганизмами в аэробных условиях в течение 20-дневного периода. Поэтому на среду, содержащую зоогумус и богатую углеродом, можно подсаживать полезных ризобактерий, переводя таким образом удобрение в разряд органо-бактериального консорциума. Показано положительное действие обогащения среды экстрактами зоогумуса на микробиом почв [23].

Работ, связанных с оценкой действия зоогумуса на антиоксидантный профиль микрозелени, недостаточно. Из последних исследований можно выделить лишь изучение его влияния на минеральный профиль и антиоксидантную активность базилика, салата и рукколы в условиях засухи [24–26]. Целью данного исследования было определение уровня аскорбиновой кислоты и хлорофилла в микрозелени базилика, выращенной традиционным способом на воде, минеральных удобрениях, а также на среде с органической добавкой в виде экстракта зоокомпоста.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Объектом для исследования послужили семена микрозелени базилика (ООО «Никольские Проростки»). Растения выращивали в пластиковых лотках с дренажными отверстиями в гроубоксе с системой протяжной вентиляции и искусственного освещения (рис. 1). Режим инсоляции на рабочую

зону бокса составил 20 800 Лк ( $312,0 \text{ ммоль/м}^2/\text{с}^{-1}$ ), фотопериод 16/8 ч (день/ночь). Источником освещения служила линейная LED-панель ( $0,6 \times 0,4 \text{ м}$ ) белого света на 100 Вт с возможностью диммирования (LED for PLANT, Россия). Температура воздуха в боксе составляла  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ , влажность равнялась 60 %. На один лоток брали по 1,5 г семян. В качестве субстрата использовали смесь торфяного субстрата (80 %) и вермикулита (20 %). Кислотность (pH) полученного почвогрунта равнялась 6,2.

Схема опыта состояла из 3 вариантов по 3 повторности. На одном варианте субстрат обогащали комплексным минеральным удобрением «Fertica Универсал». На другом использовали добавку щелочного экстракта зоогумуса *H. Illucens*. Элементный состав обоих удобрений приведен в таблице 1. В первом случае минеральное удобрение разводили согласно предписанию производителя – 20 г на 20 л воды, что составляет 0,1-процентному рабочему раствору. Порошок зоогумуса разводили до концентрации 0,5 % (5000 ppm).

Питательные добавки вносили однократно в момент посева семян по поверхности субстрата. Далее поддержание влажности субстрата осуществляли путем полива фильтрованной водой через сукти. Контролем также служили растения, выращенные на фильтрованной воде. Подачу жидкости производили путем нижнего подтопления лотков в поддоне (субиригация). Срок вегетации составил 20 суток.

Личинок для получения сухих экскрементов разводили на базе лабораторного инсектария ВНИИ пищевых добавок. Экскременты перед экстрагированием предварительно подвергались термической обработке при температуре  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 60 минут.



Рис. 1. Визуальный вид роста микрозелени базилика в гроубоксе:  
(a) – общий вид; (б) – контроль; (в) – минеральные удобрения; (г) – зоогумус *H. Illucens*  
Fig. 1. Visual view of basil microgreen growth in a growbox:  
(a) – general view; (b) – control; (c) – mineral fertilizers; (d) – BSFFF *H. Illucens*

Таблица 1

Показатели элементного профиля удобрений, используемых в опыте

Fertica Универсал		Зоогумус <i>H. Illucens</i>	
Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Азот общий	12,00	Азот общий	4,24
Фосфор	8,60	Фосфор	1,44
Калий	14,10	Калий	3,06
Железо	0,20	Железо	0,06
Марганец	0,20	Марганец	0,007
Бор	0,20	Бор	0,002
Молибден	0,01	Молибден	0,002
Медь	0,10	Медь	0,04
Цинк	0,10	Цинк	0,04
Кальций	0,55	Кальций	1,81
Натрий	2,00	Натрий	0,62
Магний	0,40	Магний	0,98
Сера	0,70	Сера	0,56

Биология и биотехнологии

Table 1

Indicators of the elemental profile of fertilizers used in the experiment

Fertica Universal		BSFFF <i>H. Illucens</i>	
Element	Content, %	Element	Content, %
Nitrogen total	12.00	Nitrogen total	4.24
Phosphorus	8.60	Phosphorus	1.44
Potassium	14.10	Potassium	3.06
Iron	0.20	Iron	0.06
Manganese	0.20	Manganese	0.007
Boron	0.20	Boron	0.002
Molybdenum	0.01	Molybdenum	0.002
Copper	0.10	Copper	0.04
Zinc	0.10	Zinc	0.04
Calcium	0.55	Calcium	1.81
Sodium	2.00	Sodium	0.62
Magnesium	0.40	Magnesium	0.98
Sulfur	0.70	Sulfur	0.56

По окончании эксперимента зеленую биомассу срезали, промывали в воде, взвешивали на аналитических весах PA 214C (Ohaus, США), измеряли высоту побегов и проводили биохимический анализ.

Определение витамина С проводили согласно ГОСТ 24556-89 путем экстрагирования раствором соляной кислоты с массовой долей 2 %, с последующим титрованием вытяжки раствором 2,6-дихлорфенолин-дофенолята натрия ( $C_{12}H_6O_2NCl_2Na$ ) до получения светло-розовой окраски. Данные полученных концентраций выражали в мг/100 г свежей массы при сравнении со стандартом. Для приготовления стандартного раствора использовали L-аскорбиновую кислоту (0,5 мг/мл).

Содержание фотосинтетических пигментов в тканях листьев определяли фотоколориметрически на спектрофотометре UV-2700 (Shimadzu, Япония) при длинах волн 663 нм ( $OD_{663}$ ) и 645 нм ( $OD_{645}$ ) согласно РД 52.24.784-2013, ГОСТ 17.1.4.02-90 и методике Лихтеналера и Бушманна [27]. Для этого

смешанную аликвоту 1,0 г сырой навески экстрагировали в темноте при комнатной температуре в течение 24 часов в 10 мл 80-процентного аммиачного ацетона. Полученный гомогенат центрифугировали (4000 об/мин) 10 минут (модель Sigma 2-6) и фильтровали. Супернатант переливали в колбу на 25 мл, доводили до метки 80 % ацетоном и в полученной жидкости определяли содержание фотосинтетических пигментов [28]. В качестве отрицательного контроля использовали чистый ацетон. Концентрацию хлорофилла (Хл) рассчитывали по формуле:

$$Хл \left( \frac{мг}{мл} \right) = 20,21 \cdot OD_{645} - 8,02 \cdot OD_{663}. \quad (1)$$

Анализ содержания хлорофилла *a* (Хл<sub>a</sub>) и *b* (Хл<sub>b</sub>) рассчитывали по следующим формулам [29]:

$$Хл_a \left( \frac{мг}{мл} \right) = -2,59 \cdot OD_{645} + 12,72 \cdot OD_{663}, \quad (2)$$

$$Хл_b \left( \frac{мг}{мл} \right) = 22,88 \cdot OD_{645} - 4,67 \cdot OD_{663}, \quad (3)$$

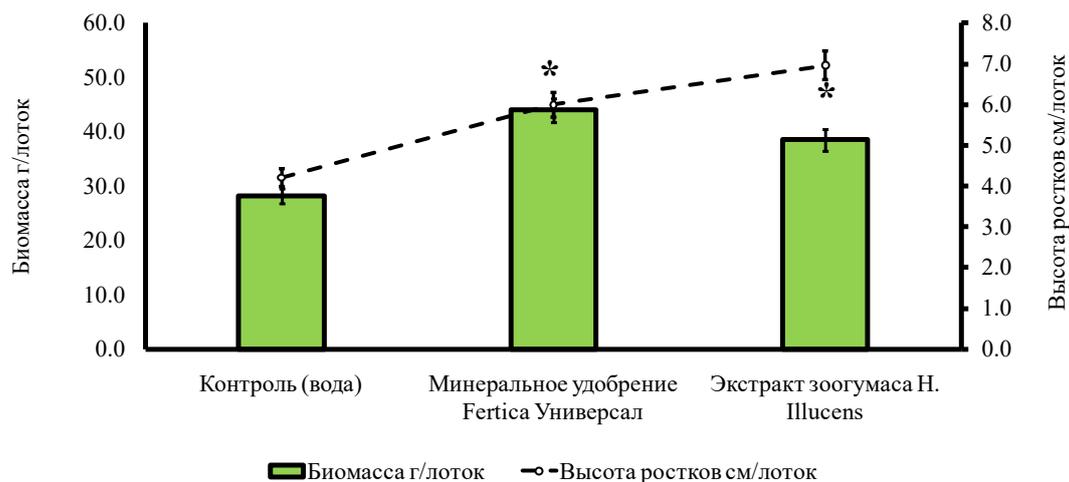


Рис. 2. Биометрические показатели роста микрозелени базилика на различной питательной среде  
\* – порог статистической значимости, ниже которого наблюдаемое различие групп можно считать статистически достоверными ( $p < 0,05$ )

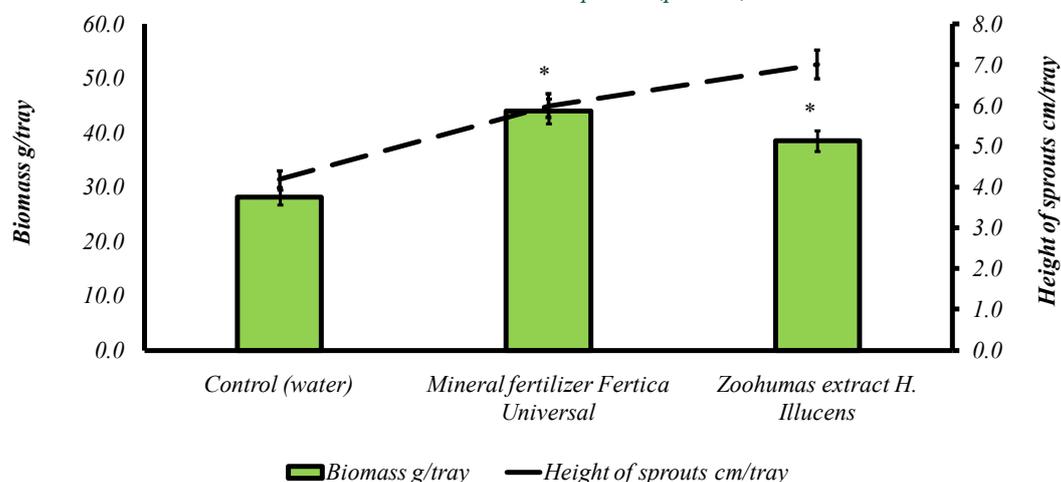


Fig. 2. Biometric indicators of basil microgreens growth on different nutrient media  
\* – threshold of statistical significance, below which the observed difference between groups can be considered statistically reliable ( $p < 0.05$ )

где значения 20,21, 8,02, 2,59, 12,72, 22,88 и 4,67 являются коэффициентами экстинкции. Конечные результаты выражали в мг хлорофилла на 100 г образца.

Обработку полученных данных выполняли с помощью прикладных систем Excel 2016 (Microsoft Corp., США). Для статистической обработки результатов на показатели роста микрозелени базилика и показатели биохимических и антиоксидантных свойств использовали дисперсионный анализ ANOVA и критерий Даннетта. По критерию Колмогорова – Смирнова оценивали нормальность распределения параметров количественных переменных. Различия считали достоверными и признавали наличие связи между показателями на уровне вероятности, не превышающей 0,05.

### Результаты (Results)

Обработка удобрениями оказала благоприятное воздействие на показатели вегетативного роста микрозелени базилика. В сравнении с контролем

добавление минеральных удобрений привело к увеличению веса побегов на 56 %, добавление зоогумуса *H. illucens* – на 36 %. Максимальная высота растений, напротив, была отмечена при внесении органической добавки. Прибавка здесь составила 65 %, тогда как на минеральном фоне – лишь 46 % (рис. 2). Увеличение биометрических показателей растений способствовало интенсификации работы фотосинтетического аппарата. Средние значения синтеза общего хлорофилла в растениях, выращенных на минеральной среде, были на 11 % выше контроля (48,14 мг / 100 г), тогда как на органике этот показатель составил 22 % (52,97 мг / 100 г). Прибавка в основном произошла за счет повышения концентрации хлорофилла *a*, основной форме зеленого пигмента, участвующего в фотосинтезе. Повышение его уровня на обоих вариантах с внесением удобрений может быть напрямую связан с обеспечением их сбалансированным комплексом эссенциальных элементов, в частности азотом [30;

Таблица 2  
Среднее показатели биохимических и антиоксидантных свойств микрозелени базилика, выращенной на различных фонах

Показатель	Аскорбиновая кислота, мг / 100 г	Хлорофилл а, мг / 100 г	Хлорофилл b, мг / 100 г	Общий хлорофилл, мг / 100 г
Контроль (вода)	71,07 ± 3,47	32,91 ± 3,45	10,61 ± 1,19	43,52 ± 4,31
Минеральное удобрение «Fertica Универсал»	77,12 ± 3,06	37,70 ± 1,80	10,45 ± 0,32	48,14 ± 1,92
Зоогумус <i>H. illucens</i>	86,73* ± 5,86	41,15 ± 2,53	11,82 ± 0,27	52,97 ± 2,33

Примечание. Показаны средние значения ± ошибки средних, \* – порог статистической значимости, ниже которого наблюдаемое различие групп можно считать статистически достоверными ( $p < 0,05$ ).

Table 2  
Average biochemical and antioxidant properties of basil microgreens grown on different backgrounds

Indicator	Ascorbic acid, mg / 100 g	Chlorophyll a, mg / 100 g	Chlorophyll b, mg / 100 g	Total chlorophyll, mg / 100 g
Control (water)	71.07 ± 3.47	32.91 ± 3.45	10.61 ± 1.19	43.52 ± 4.31
Mineral fertilizer "Fertica Universal"	77.12 ± 3.06	37.70 ± 1.80	10.45 ± 0.32	48.14 ± 1.92
BSFFF <i>H. illucens</i>	86.73* ± 5.86	41.15 ± 2.53	11.82 ± 0.27	52.97 ± 2.33

Note. Shown are mean values ± standard errors, \* is the threshold of statistical significance below which the observed difference between groups can be considered statistically significant ( $p < 0.05$ ).

31]. Последний при накоплении в тканях листа катализирует ряд ферментов, ответственных за синтез растительных пигментов [32].

По содержанию аскорбиновой кислоты также отмечено повышенное ее накопление в биомассе на варианте с органикой (таблица 2). Концентрация данного витамина здесь возросла на 22 %, тогда как на минеральном фоне – лишь на 8 % в сравнении с контролем.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Системное потребление микрозелени базилика играет жизненно важную роль в профилактике развития рака, гипертонии, диабета, сердечно-сосудистых и воспалительных заболеваний. Основным показателем полезности культуры является наличие в ее составе витамина С, органического соединения, отвечающего за ее метаболический статус. Содержание его в микрозелени в 10 раз превышает таковые в зрелых овощах [33–34]. Однако недостатком здесь является то, что концентрация витаминов в микрозелени быстро снижается из-за короткого срока годности продукта при хранении [35]. Полученные результаты анализа показали, что даже растения в неудобренном контроле изначально демонстрировали более высокую витаминную ценность получаемого продукта по данному антиоксиданту, чем, например, апельсин или перец, где содержание витамина С составляло 49,4 и 50,3 мг на 100 г соответственно [36]. Аналогичным образом значения витамина С в микрозелени базилика были выше по сравнению с клубникой [36]. При этом полученные показатели сопоставимы с концентрациями, обнаруженными у других видов микрозелени, таких как морковь, лук, шпинат и редис, или ниже их [37]. В целом его содержание в экстрактах во многом зависит от сорта и методов экстракции.

Повышение накопления аскорбиновой кислоты в биомассе в процессе выращивания является признаком эффективности применения того или иного типа удобрений. Многие исследователи отмечают, что наилучшие методы органического выращивания микрозелени в гидропонных системах, связанных с увеличением антиоксидантного потенциала и урожайности, еще не разработаны [38–39]. Поэтому подбор и рациональное использование современных питательных добавок в технологии замкнутого цикла получения зеленой экопродукции является обязательным условием для интенсификации процесса данного производства. Переработанные экскременты насекомых, полученные в виде отходов пищевой промышленности, представляются перспективным сырьем при создании нового органического удобрения (зоогумуса), используемого как в краткосрочном периоде культивирования рассады, так и в долгосрочной перспективе их вегетации [40–41]. Физико-химические характеристики зоогумуса могут различаться в зависимости от среды и типа кормления личинки. Однако при соблюдении регламента производства диапазон изменения данных параметров можно свести к минимуму. Личинки изначально должны питаться кормовыми материалами лучшего качества, чтобы не возникла вероятность накопления в их экскрементах значительного количества тяжелых металлов. В качестве источника питания могут служить корма для кур, рыб и свиней, а также различные пищевые отходы [42].

В нашем исследовании мы стремились определить оптимальную концентрацию внесения жидкого экстракта зоогумуса, достигнув баланса между урожайностью и антиоксидантным потенциалом микрозелени базилика. Было показано, что 0,5-про-

центная концентрация суспензии является целесообразной для использования в качестве альтернативы комплексному минеральному удобрению. Разница в урожае между вариантами на различных фонах составила лишь 20 %. При этом по биохимическому анализу органическая биомасса превосходила минеральную. Более высокие значения содержания витамина С, полученные на варианте с внесением в питательную среду зоогумуса, означают увеличение адаптационного потенциала культуры к возможному окислительному стрессу [43]. Кроме того, повышение количества молекул аскорбиновой кислоты как кофактора, участвующего в митотическом росте растений, служит триггером синтеза ряда полезных биоферментов, например, таких как фосфатазы, которые играют важную роль в доступности фосфора для корней растений [44]. Ранее в исследовании базилика, выращенного в гидропонной системе, было показано, что накопление витамина С имеет положительную корреляцию с общим хлорофиллом и отрицательную с продуктивностью [45]. Хлорофилл также отрицательно коррелировал с биомассой. Этим объясняется результат более низких показателей урожая на варианте с органикой. Микрозелень здесь отставала в сыром весе побегов, но таким образом получалась обогащённой питательными веществами. Вероятно, накопление аскорбиновой кислоты также положительно сказалось на улучшении катионного обмена и аккумуляции в биомассе биогенных элементов, таких как цинк, железо, марганец, медь, сера, фосфор и др. Похожие результаты были получены в исследовании с применением вермикомпоста [46].

Превосходство в весе микрозелени, полученной на варианте с минеральными удобрениями, можно также объяснить трехкратным превосходством суммарного пула содержания в нем элементов, над

органической добавкой зоогумуса. Главным образом это связано с повышенным содержанием азота. Однако существует мнение, что внесение синтетических удобрений значительно улучшает режим питания растений лишь на ранней фазе роста, в краткосрочной перспективе [47]. Кроме того, избыточное количество минерального азота приводит к излишнему накоплению в микрозелени нитратов. Листовые овощные культуры являются особенно восприимчивыми к такому типу загрязнения. Органика действует более пролонгированно за счет постепенного расщепления ее частиц в субстрате корневыми выделениями и образованию хелатных комплексов с микроэлементами. По содержанию азота удобрения, полученные из экскрементов *H. illucens*, превосходят аналоги в виде экстрактов торфа или навоза. Добавка зоогумуса по типу компоста в торфяную смесь стимулирует нитрификацию, в результате чего в органически удобренном субстрате снижается концентрация аммонийного азота и риск образования токсичного аммиака [48]. Все это делает зоогумус более пригодным удобрением в экономике замкнутого цикла выращивания базилика в системе хемопоники. Помимо жидкого экстракта, оценка урожаев здесь может проводиться с включением сухих экскрементов в почвосмесь в качестве частичной замены торфа [49]. Допустимая пропорция должна составлять 1 : 5. Также для повышения общей ценности в смесь можно включать добавку биоугля.

Поскольку исследования органического выращивания микрозелени базилика с использованием зоогумуса *H. illucens* будут продолжаться, многообещающим направлением его дальнейшего изучения может стать оценка полученного урожая не только для пищевой отрасли [50] но и для терапевтической медицины.

#### Библиографический список

1. Бородин К. Г., Фролова Е. Ю., Задорожная Е. А. Инновационные аграрные технологии в городах: зарубежные и российские сити фермы // Никоновские чтения. 2021. № 26. С. 195–199.
2. Ерохин М. Н., Скороходов Д. М., Скороходова А. Н., Анисимов А. А., Потемкин Р. А. Анализ современных устройств выращивания растений в городском фермерстве и перспективы его развития // Агроинженерия. 2021. № 3 (103). С. 24–31. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-24-31.
3. Saha S., Monroe A., Day M. R. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems // Annals of Agricultural Sciences. 2016. Vol. 61. Pp. 181–186. DOI: 10.1016/j.aas.2016.10.001.
4. Волощук Л. А., Гусева В. Е., Ерзова П. И., Белов Д. С., Гавва Е. С. Экономическая эффективность выращивания микрозелени на примере УНПК «Агроцентр» ФГБОУ ВО Вавиловский университет, г. Саратов // Экономика и предпринимательство. 2023. № 9 (158). С. 1161–1164. DOI: 10.34925/EIP.2023.158.09.225.
5. Choe U., Yu L. L., Wang T. T. Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2018. Vol. 66. Pp. 11519–11530. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b03096.
6. Othman A. J., Eliseeva L. G., Simina D. V. Microgreens: a newly merging product, aspects, prospectives, and disadvantages // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. Vol. 83, No. 1. Pp. 102–107. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-102-107.
7. 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. Vol. 1. Pp. 58–66. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2021.07.001.

8. Елисеева Л. Г., Осман А., Молодкина П. Г., Белкин Ю. Д., Сантурян Т. А. Влияние биотехнологии производства микрозелени в фитотронах городского типа на содержание функциональных ингредиентов, повышающих адаптивный иммунитет // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 5 (389). С. 28–31. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.6.
9. Елисеева Л. Г., Сими́на Д. В., Зеленков В. Н., Токарев П. И., Зайцева Е. А. Оптимизация биотехнологии получения микрозелени как источника функциональных пищевых ингредиентов в условиях синерготрона городского типа // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2024. № 1 (84). С. 21–27. DOI: 10.33979/2219-8466-2023-84-1-21-27.
10. Латушкин В. В., Зеленков В. Н., Лапин А. А., Верник П. А., Гаврилов С. В., Новиков В. Б. Экспериментальное моделирование условий онтогенеза растений и биотехнологических методов их выращивания в закрытой экосистеме – синерготроне // Вестник РАЕН. 2021. Т. 21, № 1. С. 46–53. DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-1-46-53.
11. Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. № 60. Pp. 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.
12. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens-a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits // Molecules. 2023. Vol. 28. Article number 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.
13. Pérez-Gálvez A., Viera I., Roca M. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants // Antioxidants (Basel). 2020. Vol. 9, No. 6. Article number 505. DOI: 10.3390/antiox9060505.
14. Pandey V., Patel A., Patra D. D. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.) // Industrial Crops and Products. 2016. Vol. 87. Pp. 124–131. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.04.035.
15. Ghavami A., Abdossi V., Rafiee M., Khalighi A. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit // Ukrainian Journal of Ecology. 2017. Vol. 7, No. 4. Pp. 325–329. DOI: 10.15421/2017\_123.
16. Javanmardi E., Ghorbani E. Effects of chicken manure and vermicompost teas on herb yield, secondary metabolites and antioxidant activity of lemon basil (*Ocimum × citriodorum* Vis.) // Advances in Horticultural Science. 2012. Vol. 26, No. 3-4. Pp. 151–157. DOI: 10.13128/ahs-22670.
17. Naiji M., Souri M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization // Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus. 2018. Vol. 17, No. 2. Pp. 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.
18. Toaima W. I. M., Badawy M. Y. M. A., Hamed E. S. Effect of organic fertilization on productivity of some newly introduced basil varieties under Siwa Oasis conditions // Journal of Applied Biology and Biotechnology. 2022. Vol. 10, No. 02. Pp. 74–88. DOI: 10.7324/JABB.2022.100210.
19. Пендю́рин Е. А., Рыбина С. Ю., Смоленская Л. М. Использование зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения // Аграрная наука. 2020. № 7-8. С. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110.
20. Пендю́рин Е. А., Здоровцов В. А., Рыбина С. Ю., Святченко А. В. Агрехимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого черная львинка // Агрехимический вестник. 2024. № 3. С. 59–62. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010.
21. Пендю́рин Е. А., Сапронова Ж. А., Токач Ю. Е. Зоокомпост личинок мухи черная львинка как влагоудерживающий агент в почвах // Природообустройство. 2023. № 3. С. 59–65. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-59-65.
22. Kuznetsova T. A., Vecherskii M. V., Khayrullin D. R., Stepankov A. A., Maximova I. A., Kachalkin A. V., Ushakova N. A. Dramatic effect of black soldier fly larvae on fungal community in a compost // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2022. Vol. 102, No. 6. Pp. 2598–2603. DOI: 10.1002/jsfa.11601.
23. Fuhrmann A., Wilde B., Conz R. F., Kantengwa S., Konlambigue M., Masengesho B., Kintche K., Kassa K., Musazura W., Späth L., Gold M., Mathys A., Six J., Hartmann M. Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. Article number 994091 DOI: 10.3389/fmicb.2022.994091.
24. Radzikowska-Kujawska D., Sawinska Z., Grzanka M., Kowalczewski P., Sobiech Ł., Świtek S., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślachciński M., Nowicki M. *Hermetia illucens* frass improves the physiological state of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its nutritional value under drought // PLoS ONE 2023. Vol. 18. Article number e0280037. DOI: 10.1371/journal.pone.0280037.
25. Sawinska Z., Radzikowska-Kujawska D., Kowalczewski P. Ł., Grzanka M., Sobiech Ł., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślachciński M., Świtek S. *Hermetia illucens* frass fertilization: a novel approach for enhancing

lettuce resilience and photosynthetic efficiency under drought stress conditions // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 6. Article number 2386. DOI: 10.3390/app14062386.

26. Chavez M. Y., Uchanski M., Tomberlin J. K. Impacts of black soldier fly, *Hermetia illucens*, larval frass on lettuce and arugula production // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2024. Vol. 8. Article number 1399932. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1399932.

27. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. Vol. 1, No. 1. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.

28. Goodwin T. W. Chemistry and biochemistry of plant pigment. 2nd ed. San Francisco, USA: Academic Press, 1976. 870 p.

29. 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. Vol. 83. Pp. 541–547. DOI: 10.1007/s10812-016-0325-y.

30. Baghour M., Ruiz J. M., Romero L. Metabolism and efficiency in nitrogen utilization during senescence in pepper plants: Response to nitrogenous fertilization // Journal of Plant Nutrition. 2000. Vol. 23, No. 1. Pp. 91–101. DOI: 10.1080/01904160009382000.

31. Singh K., Chand S., Yaseen M. Integrated nutrient management in Indian basil (*Ocimum basilicum*) // Industrial Crops and Products. 2014. Vol. 55. Pp. 225–229. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.009.

32. Najm A. A., Hadi M. R. H. S., Fazeli F., Darzi M. T., Rahi A. Effect of Integrated Management of Nitrogen Fertilizer and Cattle Manure on the Leaf Chlorophyll, Yield, and Tuber Glycoalkaloids of Agrida Potato // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2012. Vol. 43, No. 6. Pp. 912–923. DOI: 10.1080/00103624.2012.653027.

33. Xiao Z., Lester G. E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. No. 60. Pp. 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.

34. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens—a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits // Molecules. 2023. Vol. 28. Article number 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.

35. Mir S. A., Shah M. A., Mir M. M. Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017. Vol. 57, No. 12. Pp. 2730–2736. DOI: 10.1080/10408398.2016.1144557.

36. Kapur A. A., Hasković A., Čopra-Janićijević A., Klepo L., Topčagić A., Tahirović I., Sofić E. Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables // Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina. 2012. Vol. 38. Pp. 39–42.

37. Ghoora M. D., Babu D. R., Srividya N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens // Journal of Food Composition and Analysis. 2020. No. 91. Article number 103495. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103495.

38. Tan L., Nuffer H., Feng J., Kwan S. H., Chen H., Tong X., Kong L. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms // Food Science and Human Wellness. 2020. No. 9. Pp. 45–51. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.12.002.

39. Kyriacou M. C., De Pascale S., Kyriacou A., Roupheal Y. Microgreens as a component of space life support systems: a cornucopia of functional food // Frontiers in Plant Science. 2017. No. 8. Article number 1587. DOI: 10.3389/fpls.2017.01587.

40. Beesigamukama D., Subramanian S., Tanga C.M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, No. 1. Article number 7182. DOI: 10.1038/s41598-022-11336-z.

41. Chavez M. The sustainability of industrial insect mass rearing for food and feed production: zero waste goals through by-product utilization // Current Opinion in Insect Science. 2021. Vol. 48. Pp. 44–49. DOI: 10.1016/j.cois.2021.09.003.

42. Lomonaco G., Franco A., De Smet J., Scieuzo C., Salvia R., Falabella P. Larval frass of *Hermetia illucens* as organic fertilizer: composition and beneficial effects on different crops // Insects. 2024. Vol. 15, No. 4. Article number 293. DOI: 10.3390/insects15040293.

43. Paciolla C., Fortunato S., Dipierro N., Paradiso A., De Leonardis S., Mastropasqua L., de Pinto M. C. Vitamin C in plants: from functions to biofortification // Antioxidants. 2019. Vol. 8, No. 11. Article 519. DOI: 10.3390/antiox8110519.

44. Baslam M., Garmendia I., Goicoechea, N. Enhanced accumulation of vitamins, nutraceuticals and minerals in lettuces associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF): a question of interest for both vegetables and humans // Agriculture. 2013. No. 3. Pp. 188–209. DOI: 10.3390/agriculture3010188.

45. Fayeziadeh M. R., Ansari N. A., Sourestani M. M., Hasanuzzaman M. Balancing yield and antioxidant capacity in basil microgreens: an exploration of nutrient solution concentrations in a floating system // *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 9. Article number 1691. DOI: 10.3390/agriculture13091691.

46. Najji M., Soury M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018. Vol. 17, No. 2. Pp. 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.

47. El Gendy A. G., Taghred A. H., El-Sayed S. M. Effect of biofertilizers and/or urea on growth yield, essential oil and chemical compositions of *Cymbopogon citratus* plants // *Journal of Applied Sciences Research*. 2013. Vol. 9. Pp. 309–320.

48. Frerichs C., Daum D., Pacholski A. S. Ammonia and ammonium exposure of basil (*Ocimum basilicum* L.) growing in an organically fertilized peat substrate and strategies to mitigate related harmful impacts on plant growth // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 10. Article number 1696. DOI: 10.3389/fpls.2019.01696.

49. Setti L., Francia E., Pulvirenti A., Gigliano S., Zaccardelli M., Pane C., Caradonia F., Bortolini S., Maitrello L., Ronga D. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media // *Waste Management*. 2019. Vol. 95. Pp. 278–288. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.06.017.

50. Anwar M., Patra D. D., Chand S., Alpesh K., Naqavi A. A., Khanuja S. P. S. Effect of organic manure and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation and oil quality of French basil // *Communications In Soil Science and Plant Analysis*. 2005. Vol. 36. Pp. 1737–1746. DOI: 10.1081/CSS-200062434.

#### Об авторах:

**Святослав Игоревич Лоскутов**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций, ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-8102-2900, AuthorID 688368. *E-mail: lislosk@mail.ru*

**Ян Викторович Пухальский**, инженер-исследователь, ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0001-5233-3497, AuthorID 784249. *E-mail: puhalskyan@gmail.com*

**Алла Ивановна Якубовская**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301. *E-mail: yakubovskaya\_alla@mail.ru*,

**Ирина Алексеевна Каменева**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. *E-mail: irina.kameneva.7@mail.ru*

#### References

1. Borodin K. G., Frolova E. Yu., Zadorozhnaya E. A. Innovative agricultural technologies in cities: foreign and Russian city farms. *Nikonovskie Readings*. 2021; 26: 195–199. (In Russ.)

2. Erokhin M. N., Skorokhodov D. M., Skorokhodova A. N., Anisimov A. A., Potemkin R. A. Analysis of modern devices for growing plants in urban farming and prospects for its development. *Agroengineering*. 2021; 3 (103): 24–31. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-24-31. (In Russ.)

3. Saha S., Monroe A., Day M. R. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences*. 2016; 61: 181–186. DOI: 10.1016/j.aas.2016.10.001.

4. Voloshchuk L. A., Guseva V. E., Erzova P. I., Belov D. S., Gavva E. S. Economic efficiency of growing microgreens on the example of the Scientific and Production Complex “Agrocenter” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vavilov University, Saratov. *Economics and Entrepreneurship*. 2023; 9 (158): 1161–1164. DOI: 10.34925/EIP.2023.158.09.225. (In Russ.)

5. Choe U., Yu L. L., Wang T. T. Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018; 66: 11519–11530. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b03096.

6. Othman A. J., Eliseeva L. G., Simina D. V. Microgreens: a newly merging product, aspects, perspectives, and disadvantages. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021; 83 (1): 102–107. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-102-107.

7. 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: 58–66. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2021.07.001.

8. Eliseeva L. G., Osman A., Molodkina P. G., Belkin Yu. D., Santuryan T. A. The influence of biotechnology for the production of microgreens in urban-type phytotrons on the content of functional ingredients that en-

hance adaptive immunity. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*. 2022; 5 (389): 28–31. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.6. (In Russ.)

9. Eliseeva L. G., Simina D. V., Zelenkov V. N., Tokarev P. I., Zaitseva E. A. Optimization of biotechnology for obtaining microgreens as a source of functional food ingredients in an urban synergotron. *Technology and Commodity Science of Innovative Food Products*. 2024; 1 (84): 21–27. DOI: 10.33979/2219-8466-2023-84-1-21-27. (In Russ.)

10. Latushkin V. V., Zelenkov V. N., Lapin A. A., Vernik P. A., Gavrilov S. V., Novikov V. B. Experimental modeling of plant ontogenesis conditions and biotechnological methods of their cultivation in a closed ecosystem – synergotron. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2021; 21 (1): 46–53. DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-1-46-53. (In Russ.)

11. Xiao Z., Lester G. E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012; 60: 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.

12. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens—a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*. 2023; 28: 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.

13. Pérez-Gálvez A., Viera I., Roca M. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants. *Antioxidants (Basel)*. 2020; 9 (6): 505. DOI: 10.3390/antiox9060505.

14. Pandey V., Patel A., Patra D. D. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*. 2016; 87: 124–131. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.04.035.

15. Ghavami A., Abdossi V., Rafiee M., Khalighi A. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017; 7 (4): 325–329. DOI: 10.15421/2017\_123.

16. Javanmardi E., Ghorbani E. Effects of chicken manure and vermicompost teas on herb yield, secondary metabolites and antioxidant activity of lemon basil (*Ocimum × citriodorum* Vis.). *Advances in Horticultural Science*. 2012; 26 (3-4): 151–157. DOI: 10.13128/ahs-22670.

17. Naiji M., Souri M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018; 17 (2): 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.

18. Toaima W. I. M., Badawy M. Y. M. A., Hamed E. S. Effect of organic fertilization on productivity of some newly introduced basil varieties under Siwa Oasis conditions. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. 2022; 10 (02): 74–88. DOI: 10.7324/JABB.2022.100210.

19. Pendyurin E. A., Rybina S. Yu., Smolenskaya L. M. Using black soldier fly zoocompost as an organic fertilizer. *Agrarian Science*. 2020; 7-8: 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110. (In Russ.)

20. Pendyurin E. A., Zdorovtsov V. A., Rybina S.Y. u., Svyatchenko A. V. Agrochemical characteristics of zoocompost of black soldier fly insect larvae. *Agrochemical Bulletin*. 2024; 3: 59–62. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010. (In Russ.)

21. Pendyurin E. A., Saprionova Zh. A., Tokach Yu. E. Zoocompost of black lion fly larvae as a moisture-retaining agent in soils. *Environmental Engineering*. 2023; 3: 59–65. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-59-65. (In Russ.)

22. Kuznetsova T. A., Vecherskii M. V., Khayrullin D. R., Stepankov A. A., Maximova I. A., Kachalkin A. V., Ushakova N. A. Dramatic effect of black soldier fly larvae on fungal community in a compost. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102 (6): 2598–2603. DOI: 10.1002/jsfa.11601.

23. Fuhrmann A., Wilde B., Conz R. F., Kantengwa S., Konlambigue M., Masengesho B., Kintche K., Kassa K., Musazura W., Späth L., Gold M., Mathys A., Six J., Hartmann M. 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: 10.3389/fmicb.2022.994091.

24. Radzikowska-Kujawska D., Sawinska Z., Grzanka M., Kowalczewski P., Sobiech Ł., Świtek S., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślacheński M., Nowicki M. *Hermetia illucens* frass improves the physiological state of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its nutritional value under drought. *PLoS ONE*. 2023; 18: e0280037. DOI: 10.1371/journal.pone.0280037.

25. Sawinska Z., Radzikowska-Kujawska D., Kowalczewski P.L., Grzanka M., Sobiech Ł., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślacheński M., Świtek S. *Hermetia illucens* Frass Fertilization: A Novel Approach for Enhancing Lettuce Resilience and Photosynthetic Efficiency under Drought Stress Conditions. *Applied Sciences*. 2024; 14 (6): 2386. DOI: 10.3390/app14062386.

26. Chavez M. Y., Uchanski M., Tomberlin J. K. Impacts of black soldier fly, *Hermetia illucens*, larval frass on lettuce and arugula production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1399932. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1399932.
27. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001; 1 (1). DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.
28. Goodwin T. W. *Chemistry and biochemistry of plant pigment*. 2nd ed. San Francisco, USA: Academic Press, 1976. 870 p.
29. 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: 10.1007/s10812-016-0325-y.
30. Baghour M., Ruiz J. M., Romero L. Metabolism and efficiency in nitrogen utilization during senescence in pepper plants: Response to nitrogenous fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. 2000; 23 (1): 91–101. DOI: 10.1080/01904160009382000.
31. Singh K., Chand S., Yaseen M. Integrated nutrient management in Indian basil (*Ocimum basilicum*). *Industrial Crops and Products*. 2014; 55: 225–229. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.009.
32. Najm A. A., Hadi M. R. H. S., Fazeli F., Darzi M. T., Rahi A. Effect of Integrated Management of Nitrogen Fertilizer and Cattle Manure on the Leaf Chlorophyll, Yield, and Tuber Glycoalkaloids of Agrida Potato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2012; 43 (6): 912–923. DOI: 10.1080/00103624.2012.653027.
33. Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012; 60: 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.
34. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens—a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*. 2023; 28: 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.
35. Mir S. A., Shah M. A., Mir M. M. Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017; 57 (12): 2730–2736. DOI: 10.1080/10408398.2016.1144557.
36. Kapur A. A., Hasković A., Čopra-Janičićjević A., Klepo L., Topčagić A., Tahirović I., Sofić E. Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*. 2012; 38: 39–42.
37. Ghoola M. D., Babu D. R., Srividya N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2020; 91: 103495. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103495.
38. Tan L., Nuffer H., Feng J., Kwan S. H., Chen H., Tong X., Kong L. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. *Food Science and Human Wellness*. 2020; 9: 45–51. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.12.002.
39. Kyriacou M. C., De Pascale S., Kyrtziz A., Roupheal Y. Microgreens as a Component of Space Life Support Systems: A Cornucopia of Functional Food. *Frontiers in Plant Science*. 2017; 8: 1587. DOI: 10.3389/fpls.2017.01587.
40. Beesigamukama D., Subramanian S., Tanga C. M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 7182. DOI: 10.1038/s41598-022-11336-z.
41. Chavez M. The sustainability of industrial insect mass rearing for food and feed production: zero waste goals through by-product utilization. *Current Opinion in Insect Science*. 2021; 48: 44–49. DOI: 10.1016/j.cois.2021.09.003.
42. Lomonaco G., Franco A., De Smet J., Scieuzo C., Salvia R., Falabella P. Larval Frass of *Hermetia illucens* as Organic Fertilizer: Composition and Beneficial Effects on Different Crops. *Insects*. 2024; 15 (4): 293. DOI: 10.3390/insects15040293.
43. Paciolla C., Fortunato S., Dipierro N., Paradiso A., De Leonardis S., Mastropasqua L., de Pinto M. C. Vitamin C in plants: from functions to biofortification. *Antioxidants*. 2019; 8 (11): 519. DOI: 10.3390/antiox8110519.
44. Baslam M., Garmendia I., Goicoechea, N. Enhanced accumulation of vitamins, nutraceuticals and minerals in lettuces associated with arbuscular mycorrhizal fungi (Amf): a question of interest for both vegetables and humans. *Agriculture*. 2013; 3: 188–209. DOI: 10.3390/agriculture3010188.
45. Fayeizadeh M. R., Ansari N. A., Sourestani M. M., Hasanuzzaman M. Balancing Yield and Antioxidant Capacity in Basil Microgreens: An Exploration of Nutrient Solution Concentrations in a Floating System. *Agriculture*. 2023; 13 (9): 1691. DOI: 10.3390/agriculture13091691.
46. Najji M., Souri M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018; 17 (2): 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.

47. El Gendy A. G., Taghred A. H., El-Sayed S. M. Effect of biofertilizers and/or urea on growth yield, essential oil and chemical compositions of *Cymbopogon citratus* plants. *Journal of Applied Sciences Research*. 2013; 9: 309–320.

48. Frerichs C., Daum D., Pacholski A. S. Ammonia and ammonium exposure of basil (*Ocimum basilicum* L.) growing in an organically fertilized peat substrate and strategies to mitigate related harmful impacts on plant growth. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 10: 1696. DOI: 10.3389/fpls.2019.01696.

49. Setti L., Francia E., Pulvirenti A., Gigliano S., Zaccardelli M., Pane C., Caradonia F., Bortolini S., Maistrello L., Ronga D. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. *Waste Management*. 2019; 95: 278–288. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.06.017.

50. Anwar M., Patra D. D., Chand S., Alpesh K., Naqavi A. A., Khanuja S. P. S. Effect of organic manure and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation and oil quality of french basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2005; 36: 1737–1746. DOI: 10.1081/CSS-200062434.

#### **Authors' information:**

**Svyatoslav I. Loskutov**, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of industrial biotechnological innovation, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbатов, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-8102-2900, AuthorID: 688368. *E-mail: lislosk@mail.ru*

**Yan V. Pukhalskiy**, research engineer, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbатов, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-5233-3497, AuthorID 784249. *E-mail: puhalskiyan@gmail.com*

**Alla I. Yakubovskaya**, candidate of biological sciences, head of the laboratory of physiology and ecology of microorganisms, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301. *E-mail: yakubovskaya\_alla@mail.ru*

**Irina A. Kameneva**, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. *E-mail: irina.kameneva.7@mail.ru*