

УДК 635.647; 635.071; 635.017.3

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93

Л.В. Галактионова
А.Н. Сизенцов ✉
Н.А. Терехова
Д.Г. Федорова

Оренбургский государственный
университет, Оренбург, Россия

✉ asizen@mail.ru

Поступила в редакцию:
19.10.2023

Одобрена после рецензирования:
13.03.2024

Принята к публикации:
29.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93

Lyudmila V. Galaktionova
Alexey N. Sizentsov ✉
Nadezhda A. Terekhova
Darya G. Fedorova

Orenburg state university, Orenburg,
Russia

✉ asizen@mail.ru

Received by the editorial office:
19.10.2023

Accepted in revised:
13.03.2024

Accepted for publication:
29.03.2024

Оценка влияния органических удобрений на ростовые и биохимические параметры *Lepidium sativum* и *Raphanus sativus*

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В статье представлены результаты изучения влияния органических удобрений различного происхождения на овощные культуры редиса и кресс-салата. Актуальность исследования связана с необходимостью поиска наиболее эффективных препаратов на основе гуминовых кислот из широкого перечня, предлагаемых к использованию в растениеводстве.

Методы. Исследования проведены в условиях модельного эксперимента в 2022–2023 гг. с гуминовыми удобрениями геологического («Гумат К») и биологического (AgroVerm и «Самород») происхождения. Изучение влияния мелиорантов проводили на овощных культурах — редисе сорта Жара и кресс-салате сорта Московский парниковый. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что внесение органических удобрений достоверно повышает всхожесть, стимулируют рост и развитие культур. Влияние гуминовых препаратов достоверно повышало ростовые показатели и содержание фотосинтетических пигментов в зеленой массе растений. Для культуры кресс-салата наибольшие значения урожайности (1,46 кг/м²) отмечены на фоне внесении препарата «Гумат К», а для редиса максимальная величина урожая (2,8 кг/м²) наблюдалась в варианте использования эфлюента «Самород».

Результаты. Результаты исследования подтвердили высокую эффективность использования гуминовых удобрений в условиях низкого почвенного плодородия и позволили выявить избирательную чувствительность овощных культур к гуминовым препаратам различного происхождения.

Ключевые слова: органические удобрения, гуминовые кислоты, овощные культуры, всхожесть, пигментный комплекс, урожайность

Для цитирования: Галактионова Л.В., Сизенцов А.Н., Терехова Н.А., Федорова Д.Г. Оценка влияния органических удобрений на ростовые и биохимические параметры *Lepidium sativum* и *Raphanus sativus*. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 89–93.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93>

© Галактионова Л.В., Сизенцов А.Н., Терехова Н.А., Федорова Д.Г.

Assessment of the effect of organic fertilizers on growth and biochemical parameters of *Lepidium sativum* and *Raphanus sativus*

ABSTRACT

Relevance. The article presents the results of studying the effect of organic fertilizers of various origins on vegetable crops of radish and watercress. The relevance of the study is related to the need to find the most effective preparations based on humic acids from a wide list offered for use in crop production.

Methods. The research was carried out in a model experiment in 2022–2023 with humic fertilizers of geological (“Humate K”) and biological (“AgroVerm” and “Humate K”) origin. The study of the effect of meliorants was carried out on vegetable crops: radish of the Heat variety and watercress of the Moscow Greenhouse variety. The data obtained allow us to conclude that the application of organic fertilizers significantly increases germination, stimulates the growth and development of crops. The effect of humic preparations significantly increased growth indicators and the content of photosynthetic pigments in the green mass of plants with control. For the watercress culture, the highest yield values (1.46 kg /m²) were noted against the background of the introduction of the drug “Humate K”, and for radish, the maximum yield value (2.8 kg/ m²) was observed in the variant of using the effluent Samorod.

Results. The results of the study confirmed the high efficiency of using humic fertilizers in conditions of low soil fertility and revealed the selective sensitivity of vegetable crops to humic preparations of various origins.

Key words: organic fertilizers, humic acids, vegetable crops, germination, pigment complex, productivity

For citation: Galaktionova L.V., Sizentsov A.N., Terekhova N.A., Fedorova D.G. Assessment of the effect of organic fertilizers on growth and biochemical parameters of *Lepidium sativum* and *Raphanus sativus*. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 89–93 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-89-93>

© Galaktionova L.V., Sizentsov A.N., Terekhova N.A., Fedorova D.G.

Введение/Introduction

Повышение урожайности культурных растений — одна из приоритетных задач современного растениеводства. В районах с неблагоприятными агроклиматическими и почвенными условиями активно развиваются тепличное хозяйство, выращивание растений в искусственных грунтах и гидропоника. Поэтому интенсификация производства тесно связана с использованием минеральных и органических удобрений [1, 2]. Использование органических удобрений как полифункциональных препаратов является одним из важнейших факторов повышения почвенного плодородия [3–5].

Среди широкого перечня органических удобрений важное место отведено группе веществ естественного происхождения — гуминовых. Такие удобрения получают путем экстракции гумусовых кислот из торфа, бурого угля, сапропеля и некоторых видов глин. Еще одним способом их получения является компостирование органических отходов с использованием дождевых червей или микроорганизмов. Жидкие удобрения, полученные таким образом, называют биогумусом. Применение биогумуса (совместно с активным воздействием гуминовых кислот на почвенные свойства и растения) способствует повышению урожайности, улучшает плодородие почвы, уменьшает затраты на их возделывание, а также позволяет получать экологически чистую продукцию [6, 7].

В отличие от минеральных удобрений, они являются катализаторами ряда биохимических процессов, что связано с увеличением численности почвенных микроорганизмов, активным продуцированием ими экзоферментов и процессами трансформации растительных туков [8, 9].

Эффективность использования органических удобрений описана на примере полевых и модельных опытов при выращивании широкого диапазона культурных растений [10]. Повышенный интерес к применению гуминовых удобрений связан с их экологичностью, высокой эффективностью и пролонгированным действием.

Цель исследования — изучение влияния гуминовых удобрений различного происхождения на витальные, морфометрические и биохимические параметры *Lepidium sativum* L. и *Raphanus sativus* L. в условиях модельного эксперимента.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Исследования проведены в 2022–2023 гг. Для эксперимента были выбраны три вида гуминовых удобрений: гумат калия «Гумат К» (выделенный из бурых углей Тюльганского месторождения (Тюльганский р-н, Оренбургская обл., Россия) путем щелочной экстракции¹ на базе Инжинирингового центра ФГБОУ ВО ОГУ²), коммерческий препарат биогумуса AgroVerm (полученный в результате вермикомпостирования навоза КРС (производитель ООО «Биоэра»³) и препарат «Самород» (представляющий собой эффлюент, полученный после микробиологической трансформации отходов животноводства производства компании ООО «Комплексные системы утилизации»⁴).

Содержание гуминовых кислот в препарате «Гумат К» составило 52,5%, что обусловлено его происхождением и формой (порошок). Данный гумат был получен окислением бурого угля, а жидкие варианты удобрений AgroVerm и «Самород» содержат в своем составе до 82% воды, поэтому показатель выхода гуминовых кислот в их составе составил 5,6% и 0,9% соответственно. В связи с различиями в агрегатном состоянии удобрений для проведения их сравнительной оценки была рассчитана доза препаратов, которая обеспечивала внесение равнозначного количества органической формы углерода в вегетационные сосуды.

В качестве объектов исследования выступили растения кресс-салата Московский парниковый и редиса (редьки посевной) сорта Жара, выбор которых обусловлен тем, что они относятся к дающим устойчивые урожаи скороспелым (*Raphanus sativus*) и раннеспелым (*Lepidium sativum*) сортам, рекомендуемым для выращивания в условиях открытого и закрытого грунта, что определяет возможность получения хорошо воспроизводимых результатов при проведении экспериментальных исследований. Посевной материал приобретен в ООО «Группа компаний «Гавриш»⁵.

Схема опыта: 1 — контроль (без внесения гуминовых препаратов); 2 — препарат «Гумат К»; 3 — препарат «Самород»; 4 — препарат AgroVerm.

В качестве грунта использовали промытый 0,1 н. раствором H_2SO_4 и деионизированной водой, а затем прокаленный при температуре 140 °C более 6 часов кварцевый песок. Его закладывали в вегетационные сосуды, и вносили в соответствии с инструкцией препараты гуминовых удобрений, затем тщательно перемешивали, и в каждый сосуд высаживали семена согласно норме высева⁶ для каждой культуры. Проращивание проводили в фитокамере Pol-eko KK 1200 TOP+ (Pol-Eko-Aparatura, Польша) с учетом рекомендуемой для культур температуры (20–25 °C) продолжительностью светового дня 10 ч., влажности (55–65% ПВ), освещенности 15000 лм/м² в течение 35 дней, что было достаточно для формирования зеленой массы культур.

Опыт повторяли пять раз подряд. Схема представляла четыре варианта опыта по шесть повторностей в каждом.

Эксперимент включал предварительную обработку песка гуминовыми препаратами с последующей посадкой культурных растений и определением в течение эксперимента энергии прорастания и всхожести (в соответствии с ГОСТ 12038-84⁷), длину и массу надземных и подземных органов проводили (на 14-й день после появления всходов), а содержание фотосинтетических пигментов — согласно методике Н.Д. Смашевского⁸. Для этого точную навеску зеленой массы растений тщательно растирали, а пигменты экстрагировали 100%-ным раствором ацетона, оптическую плотность растворов определяли на спектрофотометре КФК-3-01-«ЗОМЗ» (АО «Загорский оптико-механический завод», Россия), содержание хлорофиллов *a* (Chl *a*) и *b* (Chl *b*) и каротиноидов (Car) пересчитывали в мг/г сырого веса.

Урожайность растений оценивали в кг/м² после окончания срока экспозиции эксперимента.

¹ ГОСТ 9517-94 Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот.

² <http://www.osu.ru/doc/2477> Оренбург, Россия.

³ <https://begagro.com/> Москва, Россия.

⁴ <http://kompleksu.ru/> Оренбург, Россия.

⁵ <https://semenagavriish.ru/> Москва, Россия.

⁶ Норма высева — 18 г/м² для обеих культур.

⁷ ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

⁸ Смашевский Н.Д. Практикум по физиологии растений: учебное пособие. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет». 2011; 77.

Статистический анализ данных выполняли с использованием метода дисперсионного анализа (ANOVA) при помощи программного пакета Microsoft Excel (США), для сравнения достоверности различий между показателями использовали показатель наименьшей существенной разницы при 5%-ном уровне значимости (HCP_{05}).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Всхожесть является показателем, который оценивает способность семян прорасти и развиваться на начальных этапах онтогенеза растений. Результаты определения энергии прорастания и всхожести культурных растений (рис. 1) свидетельствуют о том, что внесение гуминовых удобрений увеличивает показатели энергии прорастания и всхожести.

Максимальные значения всхожести редиса посевного (92,7%) отмечены в варианте внесения препарата «Гумат К», а кресс-салата (87,3%) — при внесении удобрения микробиологического происхождения «Самород».

Препарат AgroVerm стимулировал процесс прорастания, но значения витальных показателей редиса и кресс-салата при его использовании были ниже максимальных значений.

Оценка морфометрических показателей используется для изучения влияния различных удобрений и стимуляторов роста на организм растений. Результаты этих исследований для культуры кресс-салата (табл. 1) показали максимальное развитие корневых систем растений (36,74 мм) и надземных органов (332,67 мм) при использовании удобрения «Гумат К».

Использование всей линейки удобрений вызвало достоверное увеличение морфометрических показателей *Lepidium sativum* (за исключением массы корней в варианте внесения препарата «Гумат К»).

Данные по *Raphanus sativus* продемонстрировали наиболее выраженное стимулирующее воздействие на рост и развитие растения агропрепарата «Самород», внесение которого обеспечивало увеличение показателей длины проростков до 242,7 мм, длины и массы корней, соответственно, до 20,4 мм и 1,36 г по сравнению с контролем и другими вариантами опыта (табл. 2).

Препараты «Гумат К» и AgroVerm достоверно с контролем стимулировали рост и развитие надземных и подземных органов редиса посевного, но уступали максимальным значениям в длине проростков на 12,4%, длине и массе корней на 32,4–35,3% и 2,9–13,9% соответственно.

Несмотря на то что содержание фотосинтетических пигментов может варьировать в зависимости от комплекса факторов внешней среды, включая стадию развития, условий увлажнения, освещения и фона питания, состав пигментного аппарата остается информативным источником для оценки эффективности различных мелиоративных приемов. Так, концентрация фотосинтетических пигментов в листьях кресс-салата соответствовала классическим представлениям с преобладанием хлорофилла *a*, и использование удобрений вызвало его достоверное с контролем увеличение в вариантах внесения препаратов «Гумат К» и «Самород» (рис. 2).

Использование препарата «Самород» увеличивало до максимальных значений концентрацию Chl *b* (2,48 мг/г) и каротиноидов (3,5 мг/г). Из литературных данных известно, что повышение доли хлорофилла *b* в фотосинтезирующих тканях свидетельствует о повышении их светособирающей способности в той области

Рис. 1. Энергия прорастания и всхожесть культурных растений (* различия с контролем по HCP достоверны при уровне значимости 5%)

Fig. 1. Germination energy and germination of cultivated plants (* differences with control according to MSD are significant at a significance level of 5%)

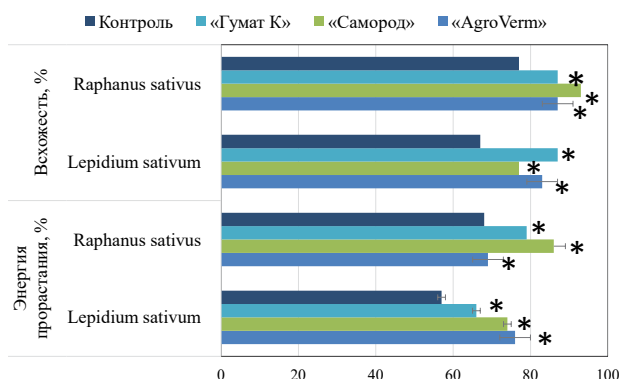


Таблица 1. Морфометрические параметры растений *Lepidium sativum*

Table 1. Morphometric parameters of plants *Lepidium sativum*

Варианты опыта	Длина проростков, мм	Длина корней, мм	Масса проростков, г	Масса 10 корней, г
Препарат AgroVerm	270,18 ± 0,9*	16,88 ± 0,3*	1,24 ± 0,7*	0,141 ± 0,02
Препарат «Самород»	304,21 ± 1,2*	27,42 ± 0,5*	1,65 ± 0,9*	0,145 ± 0,01*
Препарат «Гумат К»	332,67 ± 1,4*	36,74 ± 0,6*	2,64 ± 0,7*	0,197 ± 0,2*
Контроль	207,67 ± 1,1	11,41 ± 0,4	1,05 ± 0,04*	0,116 ± 0,3
HCP _{0,5}	6,6	0,75	0,088	0,03

Примечание: * различия с контролем по HCP достоверны при уровне значимости 5%.

Таблица 2. Морфометрические параметры растений *Raphanus sativus*

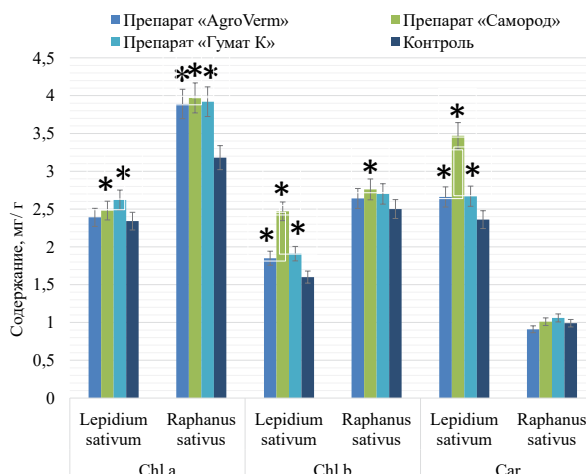
Table 2. Morphometric parameters of plants *Raphanus sativus*

Варианты опыта	Длина проростков, мм	Длина корней, мм	Масса проростков, г	Масса 10 корней, г
Препарат AgroVerm	212,6 ± 0,04*	13,20 ± 0,02*	1,32 ± 0,04*	0,27 ± 0,01
Препарат «Самород»	242,7 ± 0,60*	20,40 ± 0,10*	1,36 ± 0,12*	0,32 ± 0,02*
Препарат «Гумат К»	212,58 ± 0,70*	13,80 ± 0,06*	1,17 ± 0,04	0,24 ± 0,03
Контроль	142,4 ± 0,3*	7,10 ± 0,07	1,11 ± 0,03	0,21 ± 0,01
HCP _{0,5}	5,31	0,9	0,16	0,06

Примечание: * различия с контролем по HCP достоверны при уровне значимости 5%.

Рис. 2. Содержание фотосинтетических пигментов в растениях *Raphanus sativus* (* различия с контролем по HCP достоверны при уровне значимости 5%)

Fig. 2. Content of photosynthetic pigments in plants *Raphanus sativus* (* differences with the control are significant at a significance level of 5%)



диапазона волн (около 450 нм), которая недоступна для хлорофилла *a*, а увеличение доли каротиноидов — о повышении стрессоустойчивости растений [11].

Особенности пигментного комплекса кресс-салата проявились в преобладании в составе пигментного комплекса Chl *a* и каротиноидов, а редиса — хлорофилла *a* и *b*. Перестройка в составе фотосинтетического аппарата влечет за собой изменение активности фотосинтетических пигментов, скорости накопления ассимилятов, что сказывается на росте и продуктивности растений, а высокая доля каротиноидов в листьях определяет его высокую пищевую ценность как источника ряда биологически активных веществ [12, 13].

По результатам анализа *Raphanus sativus* на содержание фотосинтетических пигментов можно отметить, что при использовании гуминовых удобрений происходит повышение концентрации Chl *a* (более чем в 5 раз). Ряд исследований указывают на то, что Chl *a* является основным пигментом, участвующим в фотосинтезе, тогда как Chl *b* является вспомогательным, поэтому увеличение концентрации первого свидетельствует о повышении фотосинтетической активности и интенсификации продукционного процесса [11, 13]. При этом показатели содержания Chl *b* достоверно различались с контролем только при внесении эфлюента «Самород», а в остальных вариантах опыта и по концентрации каротиноидов не отреагировали на использование препаратов.

Урожайность для культуры редиса на фоне внесения препаратов достоверно увеличивалась (при

$HCP_{0,5} = 0,15$) по сравнению с контролем (2,1 кг/м²) во всех вариантах опыта. Внесение препаратов AgroVerm и «Самород» характеризовалось увеличением показателя до максимальных значений показателя, которые составили 2,5 кг/м² и 2,8 кг/м² соответственно. Культура кресс-салата характеризовалась достоверным ростом урожая зеленой массы ($HCP_{0,5} = 0,06$) с 0,72 до 1,21 кг/м² и 1,31 кг/м² соответственно в вариантах внесения удобрений AgroVerm и «Самород», а максимальное увеличение урожайности до 1,46 кг/м² наблюдалось на фоне использования препарата «Гумат К».

Вывод/Conclusion

Использование гуминовых удобрений стимулировало всхожесть овощных культур, повышало содержание фотосинтетических пигментов и урожайность овощных культур.

Для кресс-салата наибольшая всхожесть, морфометрические показатели и биомасса урожая (1,46 кг/м²) наблюдались в варианте внесения коммерческого препарата «Гумат К», а для культуры редиса посевного лучшие показатели отмечены при внесении гуминового препарата «Самород» с максимальной величиной урожая 2,8 кг/м².

Исследование продемонстрировало высокую эффективность гуминовых удобрений и позволило выявить избирательную чувствительность овощных культур к гуминовым препаратам различного происхождения.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-10079 (<https://rscf.ru/project/23-26-10079/>). Финансирование получено в рамках участия в конкурсе грантов 2023 года на «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (региональный конкурс).

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-26-10079 (<https://rscf.ru/project/23-26-10079/>). Funding was received as part of participation in the 2023 grant competition for «Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small individual scientific groups» (regional competition).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Timilsena Y.P., Adhikari R., Casey P., Muster T., Gill H., Adhikari B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(6): 1131–1142. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>
2. Gilland B. Nitrogen, Phosphorus, Carbon and Population. *Science Progress*. 2015; 98(4): 379–390. <https://doi.org/10.3184/003685015X14437845647018>
3. Jiang Y. et al. Rotation cropping and organic fertilizer jointly promote soil health and crop production. *Journal of Environmental Management*. 2022; 315: 115190. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115190>
4. Guo X.-x., Liu H.-t., Wu S.-b. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*. 2019; 662: 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
5. Darch T. et al. Fertilizer produced from abattoir waste can contribute to phosphorus sustainability, and biofortify crops with minerals. *PLoS ONE*. 2019; 14(9): e0221647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221647>
6. Martinez-Balmori D., Spaccini R., Aguiar N.O., Novotny E.H., Olivares F.L., Canellas L.P. Molecular Characteristics of Humic Acids Isolated from Vermicomposts and their Relationship to Bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62(47): 11412–11419. <https://doi.org/10.1021/jf504629c>
7. Shang L., Wan L., Zhou X., Li S., Li X. Effects of organic fertilizer on soil nutrient status, enzyme activity, and bacterial community diversity in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China. *PLoS ONE*. 2020; 15(10): e0240559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240559>
8. Павлов А.А. Оценка влияния гуминового удобрения при комплексном внесении с органическими и минеральными удобрениями на урожайность и качество вико-овсяной смеси. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023; 15(2): 38–44. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.83.006>

REFERENCES

1. Timilsena Y.P., Adhikari R., Casey P., Muster T., Gill H., Adhikari B. Enhanced efficiency fertilisers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(6): 1131–1142. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>
2. Gilland B. Nitrogen, Phosphorus, Carbon and Population. *Science Progress*. 2015; 98(4): 379–390. <https://doi.org/10.3184/003685015X14437845647018>
3. Jiang Y. et al. Rotation cropping and organic fertilizer jointly promote soil health and crop production. *Journal of Environmental Management*. 2022; 315: 115190. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115190>
4. Guo X.-x., Liu H.-t., Wu S.-b. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*. 2019; 662: 501–510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
5. Darch T. et al. Fertilizer produced from abattoir waste can contribute to phosphorus sustainability, and biofortify crops with minerals. *PLoS ONE*. 2019; 14(9): e0221647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221647>
6. Martinez-Balmori D., Spaccini R., Aguiar N.O., Novotny E.H., Olivares F.L., Canellas L.P. Molecular Characteristics of Humic Acids Isolated from Vermicomposts and their Relationship to Bioactivity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62(47): 11412–11419. <https://doi.org/10.1021/jf504629c>
7. Shang L., Wan L., Zhou X., Li S., Li X. Effects of organic fertilizer on soil nutrient status, enzyme activity, and bacterial community diversity in *Leymus chinensis* steppe in Inner Mongolia, China. *PLoS ONE*. 2020; 15(10): e0240559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240559>
8. Pavlov A.A. Assessment of the effect of humic fertilizer in complex application with organic and mineral fertilizers on the yield and quality of vetch-oats. *Herald of Ryzan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2023; 15(2): 38–44 (in Russian). <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.83.006>

9. De Corato U. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*. 2020; 738: 139840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139840>

10. da Silva M.S.R.A. et al. Humic Substances in Combination With Plant Growth-Promoting Bacteria as an Alternative for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 719653. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.719653>

11. Khan I., Zada A., Jia T., Hu X. Effect of the Enhanced Production of Chlorophyll *b* on the Light Acclimation of Tomato. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(4): 3377. <https://doi.org/10.3390/ijms24043377>

12. Sathasivam R., Bong S.J., Park C.H., Kim J.H., Kim J.K., Park S.U. Identification, Characterization, and Expression Analysis of Carotenoid Biosynthesis Genes and Carotenoid Accumulation in Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *ACS Omega*. 2021; 7(1): 430–442. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04802>

13. Giallourou N., Oruna-Concha M.J., Harbourne N. Effects of domestic processing methods on the phytochemical content of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry*. 2016; 212: 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.190>

9. De Corato U. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*. 2020; 738: 139840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139840>

10. da Silva M.S.R.A. et al. Humic Substances in Combination With Plant Growth-Promoting Bacteria as an Alternative for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 719653. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.719653>

11. Khan I., Zada A., Jia T., Hu X. Effect of the Enhanced Production of Chlorophyll *b* on the Light Acclimation of Tomato. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(4): 3377. <https://doi.org/10.3390/ijms24043377>

12. Sathasivam R., Bong S.J., Park C.H., Kim J.H., Kim J.K., Park S.U. Identification, Characterization, and Expression Analysis of Carotenoid Biosynthesis Genes and Carotenoid Accumulation in Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.). *ACS Omega*. 2021; 7(1): 430–442. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04802>

13. Giallourou N., Oruna-Concha M.J., Harbourne N. Effects of domestic processing methods on the phytochemical content of watercress (*Nasturtium officinale*). *Food Chemistry*. 2016; 212: 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.190>

ОБ АВТОРАХ

Людмила Вячеславовна Галактионова

кандидат биологических наук, доцент
anilova.osu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0781-3752>

Алексей Николаевич Сизентов

кандидат биологических наук, доцент
asizen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1099-3117>

Надежда Алексеевна Терехова

ассистент
terehova_n99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0766-2600>

Дарья Геннадьевна Федорова

кандидат биологических наук
daryaorlova24@ramble.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5323-4965>

Оренбургский государственный университет,
пр. Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Lyudmila Vyacheslavovna Galaktionova

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
anilova.osu@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0781-3752>

Alexey Nikolaevich Sizentsov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
asizen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1099-3117>

Nadezhda Alekseevna Terekhova

Assistant
terehova_n99@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0766-2600>

Darya Gennadievna Fedorova

Candidate of Biological Sciences
daryaorlova24@ramble.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5323-4965>

Orenburg State University,
13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia