

Научная статья

УДК 581.1:631.8

Код ВАК:4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-58-66

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
СОРТА ЗЛАТА ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ БИОПРЕПАРАТАМИ
НА РАЗНОМ ФОНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ****С.Х. Хуаз¹ ✉, В.Н. Лебедев², Т.В. Родичева¹**¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ huazsveta@mail.ru²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат. В статье рассматривается инокуляция семян яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата бактериальными препаратами, стимулирующими развитие растений на минеральном фоне и в условиях его отсутствия. В работе использовался ранее апробированный микробиологический препарат Флавобактерин (*Flavobacterium* sp., штамм 30) и новый испытуемый – МФ-1 (*Bacillus amyloliquefaciens*). Опыты проводились в вегетационных сосудах на 5 кг на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве. В результате исследования установлено, что инокуляция семян без внесения минерального фона существенно увеличивает высоту растений, сухую массу и продуктивность зерна от 11-16% относительно контрольного варианта без инокуляции. На естественном уровне минерального фона (без внесения удобрений) ризобактериальный препарат Флавобактерин стимулировал повышение содержания азота в зерне на 41% и не оказывал влияния на процесс накопления фосфора и калия. В то же время испытуемый биопрепарат МФ-1 существенно уменьшал концентрацию фосфора в зерне и не стимулировал увеличение других показателей относительно контроля без проведения предпосевной инокуляции. Таким образом, применение микробиологических препаратов при использовании минерального фона существенно не повлияло на ростовые процессы и зерновую продуктивность пшеницы. При этом отмечается достоверное увеличение сухой массы растений пшеницы при инокуляции биопрепаратом Флавобактерин относительно фона (N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}). Инокуляция семенного материала при внесении элементов минерального питания сравнительно с фоном без проведения инокуляции способствовала существенному увеличению содержания только азота в зерне на 15% (Флавобактерин + NPK) и на 20% (МФ-1 + NPK). Однако инокуляция в данных вариантах опыта существенно не изменяла содержание фосфора и калия в зерне.

Ключевые слова: биопрепараты, инокуляция, Флавобактерин, МФ-1, яровая пшеница, сухая масса, минеральный фон, продуктивность зерна, минеральные элементы

Цитирование. Хуаз С.Х., Лебедев В.Н., Родичева Т.В. Продуктивность и качество зерна яровой пшеницы сорта Злата при инокуляции биопрепаратами на разном фоне минерального питания // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 58–66. – doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-58-66.

PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF SPRING WHEAT VARIETY ZLATA WHEN INOCULATED WITH BIOPREPARATIONS ON DIFFERENT BACKGROUND OF MINERAL NUTRITION

S. H. Khuaz¹ ✉, V. N. Lebedev², T. V. Rodicheva¹

¹Saint-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, St. Petersburg, Russia,
✉ huazsveta@mail.ru

²Herzen State Pedagogical University of Russia,
St. Petersburg, Russia

Abstract. The article deals with inoculation of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds of Zlata variety with bacterial preparations stimulating plant development on mineral background and in its absence. The previously tested microbiological preparation Flavobacterin (*Flavobacterium sp.*, strain 30) and a new test preparation MF-1 (*Bacillus amyloliquefaciens*) were used. The experiments were conducted in 5 kg growing vessels on well-cultivated sod-podzolic soil. As a result of the study it was found that seed inoculation without mineral background significantly increases plant height, dry weight and grain productivity from 11-16% relative to the control variant without inoculation. At the natural level of mineral background (in the absence of fertiliser application) rhizobacterial preparation Flavobacterin stimulated the increase of nitrogen content in grain by 41% and had no effect on the process of accumulation of phosphorus and potassium. At the same time, the tested biopreparation MF-1 significantly reduced the concentration of phosphorus in grain and did not stimulate the increase of other indicators relative to the control without pre-sowing inoculation. Thus, the use of microbiological preparations at the use of mineral background did not significantly affect the growth processes and grain productivity of wheat. At the same time, there is a significant increase in dry weight of wheat plants when inoculated with Flavobacterin biopreparation relative to background (N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}). Inoculation of seed material with the introduction of mineral nutrition elements compared to the background in the absence of inoculation contributed to a significant increase in the content of only nitrogen in grain by 15% (Flavobacterin + NPK) and by 20% (MF-1 + NPK). However, inoculation in these experiment variants did not significantly change the content of phosphorus and potassium in grain.

Keywords: biopreparations, inoculation, Flavobacterin, MF-1, spring wheat, dry weight, mineral background, grain productivity, mineral elements

Citation. Khuaz, S. Kh., Lebedev, V. N., Rodicheva, T. V. (2024), "Productivity and grain quality of Spring Wheat variety Zlata when inoculated with biopreparations on different background of mineral nutrition", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1., pp. 58-66 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-58-66.

Введение. Установлено, что применение микробиологических препаратов при определенных условиях способствует повышению урожайности, улучшению качества растительной продукции, а также позволяет уменьшить дозы вносимого минерального азота, что экономически выгодно и экологически полезно [1–3]. Несмотря на многочисленные исследования, связанные с созданием искусственного растительно-микробного комплекса, до сих пор остается вопрос надежного прогнозирования реакций растений на процесс инокуляции. Стабильно эффективному функционированию растительно-бактериального консорциума способствуют сочетание различных благоприятных условий. Установлено [4],

что связь микробов и растений носит специфический характер, что при введении в производство новых биопрепаратов требует тщательного подбора определенного штамма микробов к виду или сорту растений. В опытах с применением биопрепаратов на различных сельскохозяйственных культурах отмечается их полифункциональное влияние непосредственно на процесс продуктивности [5, 6], накопление основных питательных элементов как в зерне, так и в соломе [7]. Также на эффективность взаимодействия биопрепаратов и растений влияют различные внешние условия среды, одним из которых является уровень питательных веществ в почве [8]. Отмечено [9], что действие микробов-стимуляторов на растения отчетливее всего проявляется при посеве их на хорошо окультуренных почвах, содержащих достаточное количество всех элементов питания, необходимых растениям.

Таким образом, для установления стабильно эффективного микробно-растительного взаимодействия необходим тщательный подбор сорта и штамма, а также наиболее оптимальный уровень минерального питания, что имеет важное практическое значение. Поэтому в данное время решение этого вопроса остается одной из ключевых задач современного устойчивого земледелия.

Цель исследования – выявление влияния исследуемых биопрепаратов на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы сорта Злата на фоне внесения и отсутствия элементов минерального питания.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследование проводилось на опытном поле СПбГАУ согласно рекомендациям [10]. Вегетационные опыты были поставлены на растениях яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата.

При посадке растений пшеницы использовались вегетационные сосуды Кирсанова. В сосуды набивалось по 5 кг почвы, в вариантах с минеральным питанием предварительно вносилось комплексное минеральное удобрение Азофоска согласно рекомендуемой дозе $N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}$ г д. в. на кг почвы в сосуде [11]. Количество растений в сосуде выравнивалось до 20 штук. Растения выращивались в вегетационном домике при естественном освещении и искусственном поливе. Влажность почвы поддерживалась на уровне 70–80% от ее полной полевой влагоёмкости.

В опыте использовались биопрепараты, предоставленные ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (Санкт-Петербург–Пушкин): Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30) – апробированный ризобактериальный штамм для сравнения; МФ-1 (*Bacillus amyloliquefaciens*) – испытуемый биопрепарат. Инокуляция семян проводилась жидкими микробиопрепаратами непосредственно перед высевом согласно рекомендациям производителя [12]. В контрольных вариантах инокуляция препаратами не применялась. Вегетационные эксперименты проведены в четырехкратной повторности.

В исследованиях использовали дерново-слабоподзолистую, хорошо окультуренную почву с высоким содержанием подвижного фосфора и калия, реакция почвенной среды – нейтральная (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы
 Table 1. Agrochemical characteristics of the soil

Орг. вещ-во, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	K ₂ O, мг/кг почвы
5,9	6,6	247	243

Для учета химического состава зерна пшеницы определяли валовое содержание азота, фосфора и калия. Анализ проводили в вытяжках после мокрого озоления растительного материала по методу К. Гинзбург и др. Количественное определение общего азота в растительных образцах проводилось фотоколориметрическим методом с использованием реактива Несслера. Калий определяли на пламенном фотометре, фосфор – на спектрофотоколориметре.

Результаты исследования. При исследовании влияния биопрепаратов на высоту растений в контрольном варианте было установлено существенное увеличение высоты растений при инокуляции биопрепаратом Флавобактерин на 16% и препаратом МФ-1 на 8% (табл. 2).

Таблица 2. Влияние биопрепаратов на высоту и продуктивность растений яровой пшеницы
в отсутствии минерального фона
Table 2. Effect of biological products on the height and productivity of spring wheat plants
in the absence of a mineral background

Вариант	Высота, см	Прирост к контролю, %	Сухая масса с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %	Масса зерна с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %
Контроль (без инокуляции)	48,7	–	41,4	–	14,5	–
Флавобактерин	56,7	16	45,9	10	16,1	11
МФ-1	52,7	8	45,7	10	16,9	16
НСР ₀₅	3,71	–	3,30	–	1,31	–

Результаты исследования показали, что применяемые биопрепараты существенно увеличивали сухую массу и продуктивность зерна. В опытных вариантах одинаково увеличивалась сухая масса, которая составляла около 10% относительно варианта без инокуляции. При анализе влияния на продуктивность зерна использование ризобактерий увеличивало массу зерна на 11–16% по отношению к контролю. Однако существенной разницы между опытными вариантами отмечено не было.

По полученным данным, инокуляция микробиологическими препаратами при внесении минерального питания не способствовала увеличению высоты растений пшеницы относительно фона основных элементов минерального питания (табл. 3).

Сухая масса при инокуляции Флавобактерином увеличивалась на 8%, в то же время использование препарата МФ-1 не оказало существенного влияния. Процесс инокуляции семян на полном минеральном фоне также выявил незначительную тенденцию к увеличению массы зерна по сравнению с фоном (N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}).

Таблица 3. Влияние биопрепаратов на высоту и продуктивность растений яровой пшеницы с применением минерального фона

Table 3. Effect of biological products on the height and productivity of spring wheat plants using a mineral background

Вариант	Высота, см	Прирост к контролю, %	Сухая масса с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %	Масса зерна с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %
N _{0,1} P _{0,1} K _{0,1} (фон)	58,8	–	46,9	0	20,3	–
Флавобактерин+фон	60,3	2	50,8	8	21,6	6
Мф-1+фон	60,6	3	49,2	4	21,2	9
НСР₀₅	8,01	–	3,40		2,69	–

Нами проведено исследование содержания азота, фосфора и калия в зерне пшеницы при обработке семян различными ризобактериями на разном уровне минерального питания.

Химический состав зерна является объективной характеристикой условий, при которых происходило формирование генеративных органов. Одновременно он позволяет судить и об отзывчивости сорта на внесение минеральных удобрений, и о качественных характеристиках зерна растений, что важно для определения посевных, кормовых и пищевых качеств культуры.

При исследовании влияния инокуляции на накопление основных питательных элементов в отсутствие минерального фона (табл. 4) было установлено, что применение биопрепарата Флавобактерин существенно увеличивало накопление общего азота в зерне на 41%, относительно контрольного варианта без инокуляции. На накопление фосфора и калия данный биопрепарат не повлиял.

Таблица 4. Влияние биопрепаратов на накопление основных элементов питания в зерне в отсутствие минерального фона

Table 4. Influence of biopreparation on accumulation of basic nutrition elements in grain in the absence of mineral background

Вариант	N	Прирост к контролю, %	P ₂ O ₅	Прирост к контролю, %	K ₂ O	Прирост к контролю, %
Контроль	1,26	–	1,49	–	0,71	–
Флавобактерин	1,78	41	1,52	1	0,71	0
Мф-1	1,38	9	1,27	–16	0,70	0
НСР₀₅	0,180	–	0,091	–	0,080	–

При испытуемом биопрепарате МФ-1 отмечается положительная тенденция увеличения содержания азота, но она незначительна. Установлено, что данный препарат

достоверно уменьшал содержание фосфора на 16% относительно контроля. Накопление калия в данном варианте нами отмечено не было.

Результаты исследований показали, что внесение минерального фона способствовало увеличению валового содержания основных питательных элементов в зерне пшеницы (табл. 4, 5) относительно опытных вариантов без его применения.

Таблица 5. Влияния биопрепаратов на накопление основных элементов питания
 в зерне при внесении минерального фона
 Table 5. Influence of biopreparation on accumulation of basic nutrition elements in grain under
 mineral background application

Вариант	N	Прирост к контролю, %	P ₂ O ₅	Прирост к контролю, %	K ₂ O	Прирост к контролю, %
N _{0,1} P _{0,1} K _{0,1} (фон)	2,23	–	1,57	–	0,80	–
Флавобактерин+фон	2,56	15	1,58	0,6	0,79	0,1
МФ-1+фон	2,70	21	1,54	–2	0,81	1
НСР ₀₅	0,221	–	0,071	–	0,052	–

При исследовании влияния инокуляции биопрепаратами совместно с внесением минерального удобрения (табл. 5) сравнительно с минеральным фоновым удобрением (N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}) без инокуляции установлено, что существенно увеличивали накопление азота в зерне Флавобактерин – на 15%, МФ-1 – на 21%, и это не влияет на содержание фосфора и калия.

Выводы:

1. В контрольном варианте на дерново-слабоподзолистой хорошо окультуренной почве инокуляция изучаемыми биопрепаратами увеличила высоту растений, их сухую массу и продуктивность зерна на 11–16%.
2. В контрольном варианте применение ризобактериального препарата Флавобактерин повышало содержание азота в зерне яровой пшеницы на 41% и не оказывало влияния на накопление фосфора и калия. В то же время испытуемый биопрепарат МФ-1 существенно уменьшал концентрацию фосфора в зерне данной культуры.
3. Применение микробиологических препаратов на фоне минеральных удобрений не повлияло на высоту растений и зерновую продуктивность пшеницы. Однако отмечается достоверное увеличение сухой массы данной культуры при инокуляции Флавобактерином.
4. Инокуляция Флавобактерином и МФ-1 на фоне минеральных удобрений увеличила содержание азота в зерне на 15%–20% (+NPK) и не изменила содержание в нем фосфора и калия.

Список литературы

1. Воробейков, Г.А., Бредихин, В.Н. Микроорганизмы в агробиотехнологиях и защите природной среды. – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. – 219 с.
2. Хуаз, С.Х., Лебедев, В.Н., Кошман, М.Е. Влияние различных биопрепаратов на продуктивность и качество растений яровой пшеницы и овса // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – №3 (72). – С. 26–35, – doi: 10.24412/2078-1318-2023- 3-26-35.
3. Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S., Enshasy, H.E. (2021), 'Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects' *Sustainability*, vol. 13. № 3, pp. 1–20.
4. Lebedev, V.N., Vorobeikov, G.A., Dmitrieva, O.M., Pavlova, T.K. 'Influence of seed's inoculation associative nitrogen-fixation rhizobacteriums on yield and quality of *Sinapis alba* L. // Physiological and molecular-genetic aspects of preservation of a biodiversity', Proceedings International Conference (19-23 September, 2005, Vologda), Vologda, 2005. P. 101.
5. Тихонович, И.А., Завалин, А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 28–32
6. Lebedev, V., Kondrat, S., Uraev, G., Khuaz, S. and Datkhuzheva, R. (2022) 'The Impact of Plant-Associated Rhizobacteria on Germination Capacity, Growth and Productivity of Spring Field Mustard and Emmer Wheat', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference "Environmental Problems of Food Security"*, p. 012028.
7. Khuaz, S.K., Kondrat, S.V. and Kozhemyakov, A.P. (2022), Effect of Different Levels of Mineral Nitrogen and Inoculation with Various Biological Preparations on Productivity and Quality of Spring Wheat. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 37 (2), pp. 67–75.
8. Laktionov, Yu.V., Kosulnikov, Yu.V. and Berdysheva, K.N. (2023) Osmoprotective properties of sucrose against nodule bacteria inoculants for legumes. *Bio web of conferences : International Scientific and Practical Conference "AGRARIAN SCIENCE – 2023" (AgriScience2023)*, p. 01007.
9. Naliukhin A.N., Surov V.V., Siluyanov O.V. [et al.] (2018) 'Changes in the Metagenome of Prokaryotic Community as an Indicator of Fertility of Arable Soddy-Podzolic Soils upon Fertilizer Application', *Eurasian Soil Science*, vol. 51(3), p. 321–326.
10. Воробейков, Г.А., Царенко, В.П., Лунина, Н.Ф. Полевые и вегетационные исследования по агрохимии и физиологии. – СПб.: Проспект науки, 2014. – С. 144.
11. Мишустин, Е.Н. Пути улучшения азотного баланса пахотных почв СССР и выполнение продовольственной программы // Известия АН СССР, сер. Биологическая. – 1983. – №3. – С. 325–334.
12. Завалин, А.А., Алметов, Н.С. Применение биопрепаратов и биологический азот в земледелии Нечерноземья. – Москва: ВНИИ институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2009. – 152 с.

References

1. Vorobeykov, G.A. and Bredikhin, V.N. (2018) Microorganisms in agrobiotechnologies and environmental protection, SPb.: RGPU im. A.I. Herzen, 219 p. (in Russian).
2. Khuaz, S.Kh., Lebedev, V.N. and Koshman, M.E. (2023) 'The influence of various biological products on the productivity and quality of spring wheat and oat plants', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 3 (72), pp. 26–35, doi: 10.24412/2078-1318-2023-3-26-35. (in Russian).

3. Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S. and Enshasy, H.E. (2021), 'Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants', *Recent developments, constraints, and prospects Sustainability*, vol. 13 (3), pp. 1–20.
4. Lebedev, V.N., Vorobeikov, G.A., Dmitrieva, O.M. and Pavlova, T.K. (2005) 'Influence of seed's inoculation associative nitrogen-fixation rhizobacteriums on yield and quality of *Sinapis alba* L. *Physiological and molecular-genetic aspects of preservation of a biodiversity*', *Proceedings International Conference* (19-23 September, 2005, Vologda). Vologda, p. 101. (in Russian).
5. Tikhonovich, I.A. and Zavalin, A.A. (2016) 'Prospects for the use of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agro-ecological situation of the Russian Federation', *Fertility*, vol. 5, pp. 28–32. (in Russian).
6. Lebedev, V., Kondrat, S., Uraev, G., Khuaz, S. and Datkhuzheva, R. (2022) 'The Impact of Plant-Associated Rhizobacteria on Germination Capacity, Growth and Productivity of Spring Field Mustard and Emmer Wheat', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference "Environmental Problems of Food Security"*, p. 012028.
7. Khuaz, S.K., Kondrat, S.V. and Kozhemyakov, A.P. (2022) 'Effect of Different Levels of Mineral Nitrogen and Inoculation with Various Biological Preparations on Productivity and Quality of Spring Wheat', *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 37 (2), pp. 67–75.
8. Laktionov, Yu.V., Kosulnikov, Yu.V. and Berdysheva, K.N. (2023) 'Osmoprotective properties of sucrose against nodule bacteria inoculants for legumes', *Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference "AGRARIAN SCIENCE – 2023"* (*AgriScience2023*), p. 01007.
9. Naliukhin, A.N., Surov, V.V., Siluyanov, O.V. [et al.] (2018) 'Changes in the Metagenome of Prokaryotic Community as an Indicator of Fertility of Arable Soddy-Podzolic Soils upon Fertilizer Application', *Eurasian Soil Science*, vol. 51 (3), pp. 321–326.
10. Vorobeykov, G.A., Tsarenko, V.P. and Lunina, N.F. (2014), Field and vegetation research in agrochemistry and phytophysiology. St. Petersburg: Prospekt Nauki, p. 144. (in Russian).
11. Mishustin, E.N. (1983), 'Ways to improve the nitrogen balance of arable soils in the USSR and implementation of the food program', *Izvestia of the USSR Academy of Sciences (Biological)*, vol. 3, pp. 325–334. (in Russian).
12. Zavalin, A.A. and Almetov, N.S. (2009) 'The use of biological products and biological nitrogen in agriculture in the Non-Black Earth Region. Moscow: All-Russia Research Institute of Agrochemistry named after. D.N. Pryanishnikova, 152 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Хуаз Светлана Хазретовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <http://orcid.org/0000-0003-3112-9133>, SPIN-код: 1481-8207, Scopus author ID: 57614020400; huazsveta@mail.ru.

Лебедев Виталий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры ботаники, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», <http://orcid.org/0000-0002-6552-4599>, SPIN-код: 8554-9515, Scopus author ID: 57808777400; antares-80@yandex.ru.

Родичева Тамара Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л. Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <http://orcid.org/0000-0003-1619-1326>, SPIN-код: 6096-7600, Scopus author ID: 57301879900, Researcher ID: T-18365-2018; trodiceva@mail.ru.

Information about the authors

Svetlana H. Khuaz, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L. N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0003-3112-9133>, SPIN-code: 1481-8207, Scopus author ID: 57614020400; huazsveta@mail.ru.

Vitaliy N. Lebedev, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, associate professor of Department of Botany, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Herzen State Pedagogical University of Russia", <http://orcid.org/0000-0002-6552-4599>, SPIN-code: 8554-9515, Scopus author ID: 57808777400; antares-80@yandex.ru.

Tamara V. Rodicheva, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L. N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0003-1619-1326>, SPIN-code: 6096-7600, Scopus author ID: 57301879900, Researcher ID: T-18365-2018; trodiceva@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 13.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted to the editorial office 15.01.2024; approved after reviewing 13.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.