

Исследование способности культур ризобактерий колонизировать корневую систему сахарной свеклы

Надежда В. Безлер ¹	bezler@list.ru	 0000-0001-9371-9564
Ольга А. Федорова ¹	fed-olga78@mail.ru	 0000-0001-7581-6141
Юлия Н. Санеева ¹	usaneeva69@gmail.com	
Валерий Д. Цомае ¹	valera-comaya@ya.ru	

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А. Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия

Аннотация. В статье рассматривается способность ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 колонизировать корневую систему сахарной свеклы. Исследование проводилось методом выращивания растений в полужидком (0,7%) голодном агаре, инокулированном указанными штаммами бактерий. Показано, что данные микроорганизмы могут приживаться и развиваться в ризосфере за счет корневых экссудатов, что подтверждает их фитопротекторные и ростстимулирующие свойства. Авторы анализируют влияние факторов окружающей среды на процесс колонизации, а также оценивают степень влияния исследуемых бактерий на полезную почвенную микрофлору. Выявлено, что внесенные микроорганизмы не оказывают ингибирующего воздействия на основные эколого-трофические группы микробиоты, участвующей в обеспечении плодородия почвы. Установлено, что процесс колонизации зависит от ряда факторов, включая состав корневых выделений, способность бактерий к адгезии, скорость их размножения и выживаемость в ризосфере. Метод оценки колонизирующей способности, основанный на выращивании растений в полужидком голодном агаре, показал свою эффективность и позволяет проводить быструю первичную диагностику перспективных штаммов ризобактерий. Экспериментально доказано, что в присутствии корневых экссудатов *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 активно образуют микроколонии на корневой поверхности сахарной свеклы, начиная со 2–5 суток после инокуляции. Развитие бактериальных колоний усиливается к 14-м суткам, при этом наибольшая плотность наблюдается в области корневой верхушки. Полученные результаты подчеркивают перспективность использования данных штаммов в агротехнологиях, направленных на повышение устойчивости сахарной свеклы к фитопатогенам и улучшение ее роста. Важным выводом является отсутствие негативного воздействия ризобактерий на естественную микрофлору почвы, что подтверждает возможность их применения в качестве биопрепаратов в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: ризобактерии, сахарная свекла, колонизирующая способность, *Agrobacterium tumefaciens* 184, *Streptomyces* sp. 3.

Study of the ability of cultures of rhizobacteria to colonize the root system of sugar beet

Nadezhda V. Bezler ¹	bezler@list.ru	 0000-0001-9371-9564
Olga A. Fedorova ¹	fed-olga78@mail.ru	 0000-0001-7581-6141
Julia N. Saneeva ¹	usaneeva69@gmail.com	
Valeriy D. Tsomaia ¹	valera-comaya@ya.ru	

¹ All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar named after A. L. Mazlumov, VNIISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia

Abstract. The article discusses the ability of the rhizobacteria *Agrobacterium tumefaciens* 184 and *Streptomyces* sp. 3 Colonize the root system of sugar beet. The study was conducted by growing plants in semi-liquid (0.7%) starved agar inoculated with these bacterial strains. It has been shown that these microorganisms can take root and develop in the rhizosphere due to root exudates, which confirms their phytoprotective and growth-stimulating properties. The authors analyze the influence of environmental factors on the colonization process, as well as assess the degree of influence of the studied bacteria on the beneficial soil microflora. It was revealed that the introduced microorganisms do not have an inhibitory effect on the main ecological and trophic groups of the microbiota involved in ensuring soil fertility. It has been established that the colonization process depends on a number of factors, including the composition of root secretions, the ability of bacteria to adhere, the rate of their reproduction and survival in the rhizosphere. The method of assessing the colonizing ability, based on growing plants in semi-liquid starved agar, has shown its effectiveness and allows for rapid primary diagnosis of promising strains of rhizobacteria. It has been experimentally proven that in the presence of root exudates of *Agrobacterium tumefaciens* 184 and *Streptomyces* sp. 3 actively form microcolonies on the root surface of sugar beet, starting from 2–5 days after inoculation. The development of bacterial colonies increases by the 14th day, with the highest density observed in the area of the root apex. The results obtained emphasize the prospects of using these strains in agricultural technologies aimed at increasing the resistance of sugar beet to phytopathogens and improving its growth. An important conclusion is the absence of negative effects of rhizobacteria on the natural microflora of the soil, which confirms the possibility of their use as biological products in agriculture.

Keywords: rhizobacteria, sugar beet, colonizing ability, *Agrobacterium tumefaciens* 184, *Streptomyces* sp. 3.

Для цитирования

Безлер Н.В., Федорова О.А., Санеева Ю.Н., Цомае В.Д. Исследование способности культур ризобактерий колонизировать корневую систему сахарной свеклы // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 85. № 4. С. 136–141. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-136-141

For citation

Bezler N.V., Fedorova O.A., Saneeva Y.N., Tsomaya V.D. Study of the ability of cultures of rhizobacteria to colonize the root system of sugar beet. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 85. no. 4. pp. 136–141. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-136-141

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Микроорганизмы в почве входят в состав сложного биоценоза и оказывают друг на друга и на высшие растения стимулирующее или угнетающее действие [1, 2]. В последние годы существенно выросло число исследований, посвященных ризобактериям, являющиеся неисчерпаемым источником новых биологически активных веществ, которые могут быть использованы в производстве средств защиты растений и продуктов сельского хозяйства, лекарственных препаратов для животных и человека [3]. Успех интродукции агроэкосистему микробных препаратов на основе ризобактерий в значительной степени будет определяться способностью микроорганизмов колонизировать ризосферу и ризоплану растений [4]. В этой связи весьма актуальным направлением исследований является углубленное изучение процесса колонизации бактериями прикорневой зоны растений и приживаемости их там. Разработаны эффективные приемы селекции активных колонизаторов ризосферы, учитывающие реальные условия с комплексом биотических и абиотических факторов среды [5]. Установлено, что интродукция ризобактерий примерно в ту экологическую нишу, из которой ее первоначально изолировали, повышает вероятность образования эффективной растительно-бактериальной ассоциации [6]. Данная работа посвящена анализу результатов по колонизации корневой системы сахарной свеклы на ранних стадиях ее развития культурами ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3.

Материалы и методы

Объектами исследований служили культуры ризобактерий: *Agrobacterium tumefaciens* 184, выделенный из ризопланы ячменя, и *Streptomyces* sp. 3 – из ризосферы сахарной свеклы. Микроорганизм выращивали глубинным способом на питательной среде Эшби и Чапека в аэробных, стерильных условиях, при 25–28 °С в течение 5 суток. Использовали суспензию клеток для приготовления рабочего раствора, в котором концентрация клеток достигала 10⁸ КОЕ/мл *Agrobacterium tumefaciens* 184 и 10⁵ КОЕ/мл *Streptomyces* sp. Способность бактерий колонизировать поверхность корней сахарной свеклы исследовали на растениях диплоидного гибрида сахарной свеклы РМС127 по методикам, описанным в литературе [7, 8]. Пробирки с проростками размещали на свету при температуре +25 °С и освещении 1000 люкс. Способность бактерий колонизировать прикорневую зону растений оценивали по образованию микроколоний бактерий у поверхности корня на 3–14-е сутки выращивания

проростков. На 15-е сутки у сеянцев отделяли корневую систему и исследовали наличие на ней бактерий в раздавленных микропрепаратах корней, окрашенных основным фуксином Циля.

Представители полезной почвенной микрофлоры, на которые установлено влияние ризобактерий: свободноживущие азотфиксаторы и diaзотрофы (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Agrobacterium* sp.), стимуляторы роста растений (*Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*), актиномицеты. Определение влияния биопрепарата на представителей полезной почвенной микрофлоры оценивали методом колодцев, описанным в руководстве [9]. Степень ингибирования роста культур микроорганизмов оценивали по диаметру зоны с отсутствием роста вокруг колодцев.

Результаты и обсуждение

С целью оценки способности культур ризобактерий колонизировать корневую систему сахарной свеклы было исследовано несколько методик. По одной [7], семена предварительно замачивали в суспензии исследуемых культур ризобактерий в течение 3–5 часов, а потом переносили в агрономических пробирках длиной, которые заливали питательной агаризованной средой следующего состава (г/л): KН₂РO₄·2Н₂O – 0,1; MgSO₄·2Н₂O – 0,1; Na₂НРO₄·2Н₂O – 0,15; СаСl₂ – 0,1; цитрат железа – 0,005; раствор микроэлементов – 1 мл; агар-агар – 7,5 г; вода дистиллированная – 1 л. Метод оказался неприемлем, поскольку наблюдалось угнетение прорастания семян в условиях минеральной питательной среды. Метод оценки колонизирующей способности в полумягком голодном агаре, предложенной Ржевской В.С. [8] оказался более подходящим для семян сахарной свеклы. Он дает возможность за относительно короткий период времени оценить способность исследуемых бактерий колонизировать корневую поверхность исследуемых растений. Проведенные нами более ранние исследования с культурами *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 продемонстрировали стимулирующее влияние на рост, развитие проростков сахарной свеклы [10]. Кроме того, штамм *Streptomyces* sp. 3, проявляющий высокую антагонистическую активность в отношении широкого спектра фитопатогенных микроорганизмов, зарекомендовал себя как перспективный агент биоконтроля основных болезней сахарной свеклы.

В процессе роста и развития растения выделяют корневые экссудаты. Эти соединения служат основным источником питательных веществ, которые способствуют интенсивному развитию микроорганизмов в почве, непосредственно примыкающей к поверхности корня –

ризосфере [11]. Как показали наши исследования, культуры ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3 за счет корневых экссудатов сахарной свеклы способны колонизировать зону корней растения и приживаться в ней. В контрольном варианте (семена, высаженные в голодный агар без внесения микроорганизмов) в агаре, окружающем корни, рост колоний не наблюдался, все зоны корня просматривались отчетливо (рисунок 1). В опытном варианте на вторые сутки внесения в питательную среду *Agrobacterium tumefaciens* 184 и на пятые сутки при внесении *Streptomyces* sp. 3 вокруг корней растений образовывалось видимое облако колоний. Разница во времени проявления колоний между культурами связана с их физиологическими особенностями роста.

С увеличением времени культивирования до 14 суток интенсивность колонизации прикорневой зоны микроорганизмами возрастала, колонии становились крупнее. При этом в различных зонах корней интенсивность их колонизации неодинакова: наибольшая скорость образования колоний отмечена на верхушке корня, наименьшая – в зоне роста. Вероятно, это связано с тем, что рост клеток микроорганизмов происходит по градиенту кислорода – в толще агара из-за недостатка кислорода рост микроорганизмов, являющихся типичными аэробами, замедляется. Из-за высокой плотности облака колоний микроорганизмов вокруг корней опытных растений корневые волоски не просматривались (рисунок 2).



Рисунок 1. Колонизация штаммами ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 (а) и *Streptomyces* sp. 3 (б) поверхности корней сахарной свеклы на 5 сутки выращивания

Figure 1. Colonization by rhizobacterial strains *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b) surface of root sugar beet for 5 days of cultivation

После извлечения корня из системы выращивания он помещался в чашки Петри на агаризованные среды Эшби и Чапека. Дальнейшее культивирование проводили в термостате при $t\ 28^{\circ}$. На рисунках 3 через 5 суток наблюдались выросшие характерные колонии микроорганизмов.



(a)



(b)

Рисунок 2. Колонизация корневой системы сахарной свеклы *Agrobacterium tumefaciens* 184 (а) и *Streptomyces* sp. 3 (б) через 14 дней культивирования

Figure 2. Colonization of the sugar beet root system by *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b) after 14 days of cultivation



(a)



(b)

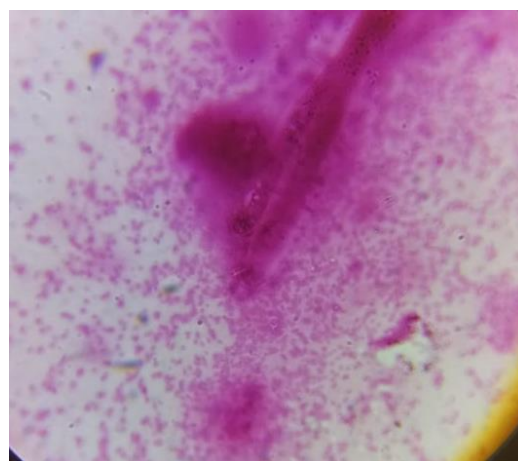
Рисунок 3. Развитие *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) и *Streptomyces* sp. 3 (b) на корневой системе сахарной свеклы
Figure 3. Development of *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b) on the root system of sugar beet

Однородные колонии расположены равномерно по всей длине корешков сахарной свеклы. Последующее микропирование раздавленных корней при помощи фиксированных

окрашенных препаратов подтвердило, что по всей длине корней были обнаружены исходные клетки *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) и *Streptomyces* sp. 3 (b).



(a)



(b)

Рисунок 4. Раздавленный препарат корней на 14-е сутки культивирования (увеличение 1000) *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) и *Streptomyces* sp. 3 (b)

Figure 4. Crushed root preparation on the 14th day of cultivation (magnification 1000) *Agrobacterium tumefaciens* 184 (a) and *Streptomyces* sp. 3 (b)

Таким образом, можно говорить о том, что клетки ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3, внесенные в среду, при прорастании семян развиваются вместе с корневой системой, по всей видимости, покрывая ее. Поскольку среда для культивирования не содержит никаких источников углерода и энергии, это может происходить только за счет выделений, образующихся при прорастании семян. Согласно литературным данным, экссудаты корней растений состоят из сложной смеси органических веществ: анионов кислот, сахаров, аминокислот, витаминов, пуринов, нуклеозидов, неорганических ионов, газообразных соединений, ферментов, фенольных соединений. Именно они и будут в значительной степени определять интеграцию микроорганизмов с растением и дальнейшее совместное их функционирование [12, 15-16].

Процесс колонизации клетками ризобактерий зависит от многих факторов, в частности,

от способности бактерий утилизировать основные компоненты корневых выделений; адгезии бактерий поверхностью корней; скорости размножения бактерий; выживаемости в ризосфере, для которой могут быть необходимы устойчивость к токсичным соединениям растений, осмо- и холодоустойчивость; взаимодействия с аборигенной микрофлорой, как благоприятные для интродукта, так и негативные. При этом важно учитывать, что вносимые в агроценоз ризобактерии должны проявлять свою активность и воздействовать на экосистему в условиях отсутствия абсолютного доминирования [13,17-18]. В настоящее время, в литературе имеются сведения о том, что в почвах, где развиваются антагонисты, представители полезной почвенной микрофлоры развиваются слабее или вовсе не развиваются [14, 19-20]. Изучено действие штаммов ризобактерий *Agrobacterium tumefaciens* 184

и *Streptomyces* sp. 3 на свободноживущие азотфиксаторы и диазотрофы, участвующие в фиксации атмосферного азота (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Agrobacterium* sp.), стимуляторы роста растений (*Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*), актиномицеты. Отсутствие зон ингибирования роста и развития изучаемых групп микроорганизмов свидетельствует о том, что изучаемые культуры не оказывали негативного воздействия на баланс основных эколого-трофических групп микробиоты, участвующей в обеспечении почвенного плодородия сахарной свеклы.

Заключение

Использование метода выращивания растений сахарной свеклы в 0,7% полумягком голодном агаре, инокулированного ризобактериями *Agrobacterium tumefaciens* 184 и *Streptomyces* sp. 3, позволило дать первичную оценку колонизирующей способности культур, а также показать перспективность их использования в посевах сахарной свеклы. Установлено, что изучаемые ризобактерии не оказывают негативного влияния на представителей полезной почвенной микрофлоры, что важно при внесении их в агроценоз в качестве биопрепаратов.

Литература

- 1 Нетрусов, А. И., Бонч-Осмоловская, Е. А., Горленко, В. М., Иванов, М. В. и др. Экология микроорганизмов. 2016. 267 с.
- 2 Giller P. Community structure and the niche. Springer Science & Business Media. 2012. 184 p.
- 3 Феоктистова, А.М. Марданова, М.Р. Хадиева, Н.В. Шарипова. Ризосферные бактерии. Ученые записки казанского университета. Серия естественные науки. 2016. Т. 158. С. 207–224.
- 4 Шапошников А.И., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 16–22.
- 5 Беззубенкова О.Е., Юхлимова М.Н., Нестерова Н.И. Микрофлора ризосферы и ризопланы и её влияние на растительный организм. Естественные и технические науки. 2012. Т. 4. С. 99–102.
- 6 Tate III R. L. Soil microbiology. John Wiley & Sons. 2020.
- 7 Федорова О.А., Ходжибаева С.М. Приживаемость микроорганизмов-антагонистов *Verticillium dahliae* в ризосфере растений хлопчатника. Доклады Академии Наук Республики Узбекистан. 2010. № 4. С. 89–95.
- 8 Ржевская В.С., Теплицкая Л.М., Отурина И.П. Колонизация ризопланы корней огурцов микроорганизмами, входящими в состав микробного препарата «Эмбио». Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2013. Т. 2. № 4. С. 63–70.
- 9 Bottomley P. J., Angle J. S., Weaver R. W. Methods of soil analysis, Part 2: Microbiological and biochemical properties. John Wiley & Sons. 2020. V. 12.
- 10 Федорова О.А., Безлер Н.В. Антифунгальный потенциал актиномицетов из ризосферы сахарной свеклы. Сахарная свекла. 2021. № 4. С. 29–32.
- 11 Ларикова Ю.С., Волобуева О.Г. Современные представления об эколого-физиологической роли корневых экссудатов растений (обзорная статья). Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. №4 (40). С. 93–101. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101
- 12 Шапошников А.И. Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор). Биология. 2011. № 3. С. 16–22.
- 13 Akram M. S., Shahid M., Tahir M., Mehmood F. Plant-microbe interactions: current perspectives of mechanisms behind symbiotic and pathogenic associations. Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. 2017. V. 1. P. 97–126.
- 14 Минаева, О.М., Акимов Е.Е., Евдокимов Е.В. Кинетические аспекты ингибирования роста фитопатогенных грибов ризосферными бактериями. Прикладная биохимия и микробиология. 2008. № 5. С. 565–570.
- 15 Wheatley R. M., Ford, B. L., Li, L., Aroney, S. T. et al. Lifestyle adaptations of Rhizobium from rhizosphere to symbiosis //Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. V. 117. № 38. P. 23823–23834.
- 16 Han Q., Ma, Q., Chen, Y., Tian, B. et al. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean //The ISME journal. 2020. V. 14. № 8. P. 1915–1928.
- 17 Choudhary D. K., Varma A., Tuteja N. Plant-microbe interaction: an approach to sustainable agriculture. Springer. 2016. P. 1–509.
- 18 Santoyo G., Urtis-Flores C. A., Loeza-Lara P. D., Orozco-Mosqueda M. D. C. et al. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) //Biology. 2021. V. 10. № 6. P. 475.
- 19 Liu Y., Xu, Z., Chen, L., Xun, W. et al. Root colonization by beneficial rhizobacteria //FEMS Microbiology Reviews. 2024. V. 48. № 1. P. 60–66.
- 20 Bhat M. A., Mishra A. K., Jan S., Kamal, M. A. et al. Plant growth promoting rhizobacteria in plant health: a perspective study of the underground interaction //Plants. 2023. V. 12. № 3. P. 629.

References

- 1 Netrusov, A. I., Bonch-Osmolovskaya, E. A., Gorlenko, V. M., Ivanov, M. V. and others. Ecology of microorganisms. 2016. 267 p. (in Russian).
- 2 Giller P. Community structure and the niche. Springer Science & Business Media. 2012. 184 p.
- 3 Feoktistova, A.M. Mardanova, M.R. Khadieva, N.V. Sharipova. Rhizospheric bacteria. Scientific notes of Kazan University. The Natural sciences series. 2016. Vol. 158. pp. 207–224. (in Russian).

- 4 Shaposhnikov A.I., Belimov A.A., Kravchenko L.V., Vivanko D.M. Interaction of rhizospheric bacteria with plants: mechanisms of formation and factors of effectiveness of associative symbioses (review). *Agricultural biology*. 2011. no. 3. pp. 16-22. (in Russian).
- 5 Bezzubenkova O.E., Yukhlomova M.N., Nesterova N.I. Microflora of the rhizosphere and rhizoplanes and its effect on the plant organism. *Natural and technical sciences*. 2012. Vol. 4. pp. 99-102. (in Russian).
- 6 Tate III R. L. *Soil microbiology*. John Wiley & Sons. 2020.
- 7 Fedorova, O.A., Khodzhibaeva, S.M. Survival of *Verticillium dahliae* antagonist microorganisms in the rhizosphere of cotton plants. *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*. 2010. no. 4. pp. 89-95. (in Russian).
- 8 Rzhetskaya, V.S., Teplitskaya, L.M., Oturina, I.P. Colonization of cucumber root rhizoplanes by microorganisms included in the microbial preparation Embiko. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2013. Vol. 2. no. 4. pp. 63-70. (in Russian).
- 9 Bottomley P. J., Angle J. S., Weaver R. W. (ed.). *Methods of soil analysis, Part 2: Microbiological and biochemical properties*. John Wiley & Sons, 2020. Vol. 12.
- 10 Fedorova O.A., Bezler N.V. Antifungal potential of actinomycetes from the rhizosphere of sugar beet. *Sugar beet*. 2021. no. 4. pp. 29-32. (in Russian).
- 11 Larikova Y.S., Volobueva O.G. Modern ideas about the ecological and physiological role of root exudates of plants (review article). *Leguminous and cereal crops*. 2021. №4 (40). pp. 93-101. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-93-101 (in Russian).
- 12 Shaposhnikov, A.I. Belimov, A.A., Kravchenko, L.V., Vivanko, D.M. Interaction of rhizospheric bacteria with plants: mechanisms of formation and factors of effectiveness of associative symbioses (review). *Biology*. 2011. no. 3. pp. 16-22. (in Russian).
- 13 Akram M. S., Shahid M., Tahir M., Mehmood F. Plant-microbe interactions: current perspectives of mechanisms behind symbiotic and pathogenic associations. *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*. 2017. Vol. 1. pp. 97-126.
- 14 Minaeva, O.M., Akimova E.E., Evdokimov E.V. Kinetic aspects of inhibition of the growth of phytopathogenic fungi by rhizospheric bacteria. *Applied Biochemistry and microbiology*. 2008. no. 5. pp. 565-570. (in Russian).
- 15 Wheatley R. M., Ford, B. L., Li, L., Aroney, S. T. et al. Lifestyle adaptations of *Rhizobium* from rhizosphere to symbiosis // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. Vol. 117. no. 38. pp. 23823-23834.
- 16 Han Q., Ma, Q., Chen, Y., Tian, B. et al. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean // *The ISME journal*. 2020. Vol. 14. no. 8. pp. 1915-1928.
- 17 Choudhary D. K., Varma A., Tuteja N. *Plant-microbe interaction: an approach to sustainable agriculture*. Springer. 2016. pp. 1-509.
- 18 Santoyo G., Urtis-Flores C. A., Loeza-Lara P. D., Orozco-Mosqueda M. D. C et al. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) // *Biology*. 2021. Vol. 10. no. 6. pp. 475.
- 19 Liu Y., Xu, Z., Chen, L., Xun, W. et al. Root colonization by beneficial rhizobacteria // *FEMS Microbiology Reviews*. 2024. Vol. 48. no. 1. pp. 60-66.
- 20 Bhat M. A., Mishra A. K., Jan S., Kamal, M. A. et al. Plant growth promoting rhizobacteria in plant health: a perspective study of the underground interaction // *Plants*. 2023. Vol. 12. no. 3. pp. 629.

Сведения об авторах

Надежда В. Безлер д.с-х.н, ведущий научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, bezler@list.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>
Ольга А. Федорова к.б.н., старший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, fed-olga78@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>
Юлия Н. Санеева магистр, младший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, usaneeva69@gmail.com

Валерий Д. Цома магистр, младший научный сотрудник, ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, ВНИИСС, 19, Рамонский район, 396030, Россия, valera-comaya@ya.ru

Information about authors

Nadezhda V. Bezler Dr. Sci. (Agric.), leading researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, bezler@list.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9371-9564>
Olga A. Fedorova Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, fed-olga78@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7581-6141>
Julia N. Saneeva Cand. Sci. (Econ.), engineer, junior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, usaneeva69@gmail.com

Valeriy D. Tsomaia master, junior researcher, VNISS named after A.L. Mazlumov, VNISS, 19, Ramonsky district, 396030, Russia, valera-comaya@ya.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/10/2024	После редакции 11/11/2024	Принята в печать 26/11/2024
Received 21/10/2024	Accepted in revised 11/11/2024	Accepted 26/11/2024