

Исследование последовательной интродукции *Lactobacillus plantarum* и *Streptomyces rimosus* для формирования микробиома ризосферы огурца в минераловатном субстрате

© Бехбудзаде Нурлан Бешир-оглы, Павленко Екатерина Олеговна,
Шагаев⁺ Антон Александрович, Панфилов Виктор Иванович,
Марквичев* Николай Семёнович

Кафедра биотехнологии. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
Миусская площадь, 9. г. Москва, 125047. Россия.

Тел.: +7 (968) 792-60-77. E-mail: shagaev.a.a@muctr.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: эффекты приоритета, трофическая дифференциация, последовательная интродукция, *Lactobacillus plantarum*, *Streptomyces rimosus*, минераловатный субстрат, ризосферный микробиом.

Аннотация

Исследована последовательная интродукция *Lactobacillus plantarum* B1101 и *Streptomyces rimosus* B1204 в минераловатный субстрат для формирования защитного микробиома ризосферы огурца. Показано, что *S. rimosus* обладает амилолитической активностью, тогда как *L. plantarum* не гидролизует крахмал, что свидетельствует о трофической дифференциации штаммов. Культуральная жидкость *L. Plantarum* проявляет бактерицидную активность в отношении *R. radiobacter* и *C. michiganensis*, но не ингибирует грибные тест-культуры; *S. rimosus* подавляет широкий спектр фитопатогенных грибов, а также агентов биоконтроля рода *Trichoderma*. Бактерицидная активность *S. rimosus* выявлена при использовании неразбавленной культуральной жидкости после 7-суточного культивирования, однако при совместном выдерживании в баксмеси с *L. plantarum* (разбавление 100×) подавления не наблюдается. Установлено, что порядок внесения определяет сохранность штаммов в субстрате: при одновременном внесении оба штамма элиминируются к 28 суткам; при последовательном – *L. plantarum* сохраняется до 28 суток, *S. rimosus* – до 42 суток; поддерживающее внесение на 28 сутки продлевает присутствие обоих штаммов до 56 суток (*L. plantarum* – $2.0 \cdot 10^4$, *S. rimosus* – $5.0 \cdot 10^5$ КОЕ/г). Оптимальная схема: стартовое внесение *L. plantarum* ($t = 0$), внесение *S. rimosus* с крахмалом ($t = 3-5$ сут.), поддерживающее внесение обоих штаммов ($t = 28$ сут). Предложенный подход создаёт основу для двухбарьерной защиты ризосферы огурца в защищённом грунте.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Бехбудзаде Н.Б., Павленко Е.О., Шагаев А.А., Панфилов В.И., Марквичев Н.С. Исследование последовательной интродукции *Lactobacillus plantarum* и *Streptomyces rimosus* для формирования микробиома ризосферы огурца в минераловатном субстрате. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №9. С.103-112. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-103

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Бехбудзаде Н.Б., Павленко Е.О., Шагаев А.А., Панфилов В.И., Марквичев Н.С. Исследование последовательной интродукции *Lactobacillus plantarum* и *Streptomyces rimosus* для формирования микробиома ризосферы огурца в минераловатном субстрате. *Бутлеровские сообщения* С. 2026. Т.14. №3. Id.18. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-103/ROI-jbc-C/26-14-3-18 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Nurlan B. Bekhbudzade, Ekaterina O. Pavlenko, Anton A. Shagaev, Viktor I. Panfilov, Nikolay S. Markvichev. Study of the sequential introduction of *Lactobacillus plantarum* and *Streptomyces rimosus* for the formation of protective microbiome in the cucumber rhizosphere in rockwool substrate. *Butlerov Communications* C. 2026. Vol.14. No.3. Id.18. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-103/ROI-jbc-C/26-14-3-18

Литература

- [1] N.S. Gruda. Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*. **2019**. Vol.9. No.6. P.298. DOI: 10.3390/agronomy9060298
- [2] K.M. Waiba, *et al.* Soil-less vegetable cultivation: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. **2020**. Vol.9. No.1. P.631-636. DOI:10.22159/jpp.2020.v9i1.38008
- [3] D. Udayanga, *et al.* Foliar pathogenic fungi: growing threats to global food security and ecosystem health. *Ceylon Journal of Science*. **2020**. Vol.49. No.5. DOI: 10.4038/cjs.v49i5.7801
- [4] R. Lahlali, *et al.* Nanoparticles' Pioneering Solutions for Plant Disease Management. Sustainable Era of Nanomaterials: Opening Up a Path for a Green Future. *Singapore: Springer Nature Singapore*. **2025**. P.345-378. DOI:10.1007/978-981-96-4471-1_17
- [5] T. Fukami. Historical contingency in community assembly: integrating niches, species pools, and priority effects. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*. **2015**. Vol.46. No.1. P.1-23. DOI: 10.1146/annurev-ecolsys-110411-160340
- [6] R. Debray, *et al.* Priority effects in microbiome assembly. *Nature reviews microbiology*. **2022**. Vol.20. No.2. P.109-121. DOI: 10.1038/s41579-021-00604-w
- [7] N. Fouad *et al.* Rhizosphere Microbiome Engineering for Climate-Smart Agriculture: From Synthetic Consortia to Precision Decision Support. *Microorganisms*. **2026**. Vol.14. No.5. P.1138. DOI: 10.3390/microorganisms14051138
- [8] C.I. Carlström *et al.* Synthetic microbiota reveal priority effects and keystone strains in the Arabidopsis phyllosphere. *Nature ecology & evolution*. **2019**. Vol.3. No.10. P.1445-1454. DOI: 10.1038/s41559-019-0994-z
- [9] H. Matsumoto *et al.* Bacterial seed endophyte shapes disease resistance in rice. *Nature plants*. **2021**. Vol.7. No.1. P.60-72. DOI: 10.1038/s41477-020-00826-5
- [10] Минич М.В. и др. Формирование биоценоза в прикорневой зоне огурца путём внесения сухих микроорганизмов в минеральную вату. *Успехи в химии и химической технологии*. **2020**. Т.34. №.11(234). С. 43-45. [M.V. Minich, *et al.* Formation of biocenosis in the root zone of cucumber by introducing dry microorganisms into mineral wool. *Achievements in chemistry and chemical technology*. **2020**. Vol.34. No.11(234). P.43-45. (Russian)]
- [11] Бехбудзаде Н.Б.-о. и др. Минеральная вата нового поколения - формирование микробного ценоза. *Гавриш*. **2020**. №3. С.42-45. [N.B.-o. Bekhbudzade *et al.* Mineral wool of a new generation - formation of microbial cenosis. *Gavrish*. **2020**. No.3. P.42-45. (Russian)]
- [12] Бехбудзаде Н. Б.-о. и др. Минеральная вата нового поколения – 3. Анализ микробиологического состава субстрата и экономическая эффективность. *Гавриш*. **2020**. №5. С.58-61. [N.B.-o. Bekhbudzade *et al.* Mineral wool of a new generation - 3. Analysis of the microbiological composition of the substrate and economic efficiency. *Gavrish*. **2020**. No.5. P.58-61. (Russian)]
- [13] J. R. Lamont *et al.* From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production. *Soil Biology and Biochemistry*. **2017**. Vol.111. P.1-9. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.03.015
- [14] A. Bariya, R. Kumar, S.K. Singh. Isolation, characterization and exploration of the biological activity of endophytic bacteria from medicinal plants. *Journal of Advanced Scientific Research*. **2022**. Vol.13. No.13(02). P.15-20. DOI: 10.21838/jasr.2022.v13i2.147
- [15] S.B. Zotchev. Genomics-based insights into the evolution of secondary metabolite biosynthesis in actinomycete bacteria. Evolutionary biology: genome evolution, speciation, coevolution and origin of life. *Cham: Springer International Publishing*. **2014**. P.35-45. DOI: 10.1007/978-3-319-07623-2_2
- [16] Павленко Е.О. и др. Влияние крахмала на проявление антагонистической активности штамма *Streptomyces rimosus* B1204 в отношении фитопатогенных и сапрофитных грибов. *Труды Юбилейной XXV Ежегодной молодежной конференции с международным участием ИБХФ РАН-ВУЗы Биохимическая физика (24-26 ноября 2025 года, Москва, Россия)*. **2025**. С.211-214. [E.O. Pavlenko *et al.* Effect of starch on the antagonistic activity of *Streptomyces rimosus* B1204 against phytopathogenic and saprophytic fungi. *Proceedings of the XXV Annual Youth Conference with international participation of IBCF RAS-Universities "Biochemical Physics" (November 24-26, 2025, Moscow, Russia)*. **2025**. P.211-214. (Russian)]
- [17] Шагаев А.А. и др. Повышение продуктивности растительных экосистем регулированием уровня фитопатогенеза *Fusarium oxysporum* экссудатами корневой системы растений. *Химическая промышленность сегодня*. **2023**. №.2. С.7-12. [A.A. Shagaev, *et al.* Increasing the productivity of plant ecosystems by regulating the level of phytopathogenesis of *Fusarium oxysporum* by root system exudates. *Chemical Industry Today*. **2023**. No.2. P.7-12. (Russian)]
- [18] D.R. Hoagland. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. *California agricultural experiment station*. **1938**. Vol.347. P.1.
- [19] Градова Н.Б. и др. Лабораторный практикум по общей микробиологии. *Москва*. **1999**. [N.B. Gradova, *et al.* Laboratory workshop on general microbiology. *Moscow*. **1999**. (Russian)]
- [20] Бруслик Н.Л. и др. Сравнительная характеристика амилалитической активности грамположительных бактерий. *Вестник ВГУ, серия: Химия. Биология. Фармация*. **2014**. №.2. С.47-51. [N.L. Bruslik, *et al.* Comparative characteristics of the amylolytic activity of gram-positive bacteria. *Vestnik VGU, series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. **2014**. No.2. P.47-51. (Russian)]

- [21] Иркитова А.Н., Каган Я.Р., Соколова Г.Г. Сравнительный анализ методов определения антагонистической активности молочнокислых бактерий. *Известия Алтайского государственного университета*. **2012**. №.3-1. С.41-44. [A.N. Irkitova, Ya.R. Kagan, G.G. Sokolova. Comparative analysis of methods for determining the antagonistic activity of lactic acid bacteria. *Izvestiya of Altai State University*. **2012**. No.3-1. P.41-44. (Russian)]
- [22] N.B. Bekhbudzade, E.O. Pavlenko, A.A. Shagaev, V.I. Panfilov, N.S. Markvichev. Study of the sequential introduction of *Lactobacillus plantarum* and *Streptomyces rimosus* for the formation of protective microbiome in the cucumber rhizosphere in rockwool substrate. *Butlerov Communications C*. **2026**. Vol.14. No.3. Id.18. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-103/ROI-jbc-C/26-14-3-18
- [23] Бехбудзаде Н.Б., Павленко Е.О., Шагаев А.А., Панфилов В.И., Марквичев Н.С. Исследование последовательной интродукции *Lactobacillus plantarum* и *Streptomyces rimosus* для формирования микробиома ризосферы огурца в минераловатном субстрате. *Бутлеровские сообщения C*. **2026**. Т.14. №3. Id.18. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-103/ROI-jbc-C/26-14-3-18 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/26-14-3-18

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-103/ROI-jbc-C/26-14-3-18

Study of the sequential introduction of *Lactobacillus plantarum* and *Streptomyces rimosus* for the formation of protective microbiome in the cucumber rhizosphere in rockwool substrate

**Nurlan B. Bekhbudzade, Ekaterina O. Pavlenko, Anton A. Shagaev,⁺
Viktor I. Panfilov, Nikolay S. Markvichev***

Mendeleev University of Chemical Technology, Miusskaya Sq., 9, Moscow, 125047, Russia.
Phone: +7 (968) 792-60-77. E-mail: shagaev.a.a@muctr.ru

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: priority effects, trophic differentiation, sequential introduction, *Lactobacillus plantarum*, *Streptomyces rimosus*, rockwool substrate, rhizosphere microbiome.

Abstract

The study investigates the sequential introduction of *Lactobacillus plantarum* B1101 and *Streptomyces rimosus* B1204 into rockwool substrate to establish a protective rhizosphere microbiome for cucumber plants. Amylolytic activity was detected in *S. rimosus*, whereas *L. plantarum* did not hydrolyze starch, indicating trophic differentiation between the strains. In vitro assays showed that the culture liquid of *L. plantarum* exhibited bactericidal activity against *Rhizobium radiobacter* and *Clavibacter michiganensis* but did not inhibit fungal test cultures. In contrast, the culture liquid of *S. rimosus* suppressed a broad spectrum of phytopathogenic fungi and also inhibited biocontrol agents of the genus *Trichoderma*. Bactericidal activity of *S. rimosus* was observed with undiluted culture liquid after 7 days of cultivation; however, no inhibition was detected when *S. rimosus* and *L. plantarum* were co-incubated in a tank mixture at a 100-fold dilution, suggesting a lack of mutual antagonism under these conditions.

The timing of inoculation was found to be critical for strain persistence in the substrate. Simultaneous introduction resulted in the elimination of both strains by day 28. With sequential introduction, *L. plantarum* persisted up to day 28, while *S. rimosus* remained detectable up to day 42. A maintenance inoculation of both strains on day 28 extended their presence to day 56, with populations reaching $2.0 \cdot 10^4$ CFU/g for *L. plantarum* and $5.0 \cdot 10^5$ CFU/g for *S. rimosus*. The optimal inoculation scheme comprised an initial introduction of *L. plantarum* ($t = 0$), followed by the addition of *S. rimosus* with starch ($t = 3-5$ days), and a maintenance inoculation of both strains ($t = 28$ days).

This approach leverages priority effects and trophic differentiation to promote long-term coexistence of the strains and provides a basis for a dual-barrier protection strategy in soilless cucumber cultivation systems.