



<https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-6-4>

УДК: 579.222

Тип статьи: оригинальная

Type of article: original

Аспекты совместного культивирования *Bacillus amyloliquefaciens* и *Bacillus aryabhatai* для интенсификации синтеза ростостимулирующих веществ

(✉) Серазетдинова Ю.Р., Богачёва Н.Н., Фасхутдинова Е.Р., Асякина Л.К., Проскурякова Л.А.

Кемеровский государственный университет

Кемерово, Россия

(✉) e-mail: serazetdinova2000@mail.ru

Изучены ростостимулирующие свойства штаммов *Bacillus amyloliquefaciens* B-11265 и *Bacillus aryabhatai* B-13192, а также дана оценка возможности их совместного культивирования для интенсификации активности. Установлено, что исследуемые штаммы способны синтезировать индолил-3-уксусную и гиббереллиновую кислоты, сидерофоры: *B. amyloliquefaciens* B-11265 в количестве 5,23 мкг/мл, 1,05 мг/мл, 46,15%; *B. aryabhatai* B-13192 – 3,07 мкг/мл, 0,84 мг/мл, 35,50% соответственно. Результаты исследования показали, что штаммы являются биосовместимыми и не ингибируют развитие друг друга, что позволяет включить их в состав одного консорциума. Совместное культивирование штаммов показало, что соотношение микроорганизмов в питательном субстрате оказывает значительное влияние на выход целевых веществ. При соотношении *B. amyloliquefaciens* и *B. aryabhatai* 1 : 1 отмечено угнетение синтеза индолил-3-уксусной кислоты, соотношения 2 : 3 и 3 : 2 приводили к снижению продуцирования гиббереллиновой кислоты. Установлено, что оптимальным соотношением, позволяющим добиться повышения выхода целевых веществ по сравнению со средними значениями, характерными для отдельных штаммов, являлось три (*B. amyloliquefaciens*) к одному (*B. aryabhatai*). В данном варианте синтез ростостимулирующих веществ консорциумом составил: индолил-3-уксусная кислота – 5,31 мкг/мл, гиббереллиновая кислота – 1,23 мг/мл, сидерофоры – 51,27%. Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале сконструированного консорциума для применения в сельском хозяйстве. Однако для разработки ростостимулирующего препарата на его основе необходимо провести ряд дополнительных исследований, направленных на изучение влияния штамма на сельскохозяйственные культуры в условиях лабораторных и полевых экспериментов.

Ключевые слова: биологизация, *Bacillus*, ростостимулирующие свойства, фитогормоны, сидерофоры, микробный консорциум

Aspects of the joint cultivation of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus aryabhatai* for the intensification of growth-stimulating substances synthesis

(✉) Serazetdinova Yu.R., Bogacheva N.N., Faskhutdinova E.R., Asyakina L.K., Proskuryakova L.A.

Kemerovo State University

Kemerovo, Russia

(✉) e-mail: serazetdinova2000@mail.ru

Growth-stimulating properties of *Bacillus amyloliquefaciens* B-11265 and *Bacillus aryabhatai* B-13192 strains were studied, and the possibility of their co-cultivation for activity intensification was evaluated. The strains under study were found to be able to synthesize indolyl-3-acetic and gibberellic acids, siderophores: *B. amyloliquefaciens* B-11265 in the amount of 5.23 µg/ml, 1.05 mg/ml, 46.15%; *B. aryabhatai* B-13192 – 3.07 µg/ml, 0.84 mg/ml, 35.50%, respectively. The research results showed

that the strains were biocompatible and did not inhibit each other's development, allowing them to be included in the same consortium. Joint cultivation of the strains showed that the ratio of microorganisms in the nutrient substrate has a significant effect on the yield of the target substances. At the ratio of *B. amyloliquefaciens* and *B. aryabhattai* 1 : 1, inhibition of indolyl-3-acetic acid synthesis was observed; ratios of 2 : 3 and 3 : 2 led to a decrease in gibberellic acid production. It was found that three (*B. amyloliquefaciens*) to one (*B. aryabhattai*) was the optimal ratio to increase the yield of the target substances compared to the average values characteristic of individual strains. In this variant, the synthesis of growth-stimulating substances by the consortium was: indolyl-3-acetic acid – 5.31 µg/ml, gibberellic acid – 1.23 mg/ml, siderophores – 51.27%. The results obtained indicate the high potential of the engineered consortium for agricultural applications. However, in order to develop a growth-stimulating preparation based on it, it is necessary to conduct a number of additional studies aimed at investigating the effect of the strain on agricultural crops in laboratory and field experiments.

Keywords: biologization, *Bacillus*, growth-stimulating properties, phytohormones, siderophores, microbial consortium

Для цитирования: Серазетдинова Ю.Р., Богачёва Н.Н., Фасхутдинова Е.Р., Асякина Л.К., Проскурякова Л.А. Аспекты совместного культивирования *Bacillus amyloliquefaciens* и *Bacillus aryabhattai* для интенсификации синтеза ростостимулирующих веществ // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 6. С. 41–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-6-4>

For citation: Serazetdinova Yu.R., Bogacheva N.N., Faskhutdinova E.R., Asyakina L.K., Proskuryakova L.A. Aspects of the joint cultivation of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus aryabhattai* for the intensification of growth-stimulating substances synthesis. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 6, pp. 41–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-6-4>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Исследование потенциала ростостимулирующих бактерий для повышения агрономической биофортификации пшеницы» (шифр FZSR-2024-0009).

Acknowledgments

The work was carried out within the framework of the state task on the topic “Research of the potential of growth-stimulating bacteria to increase the agronomic biofortification of wheat” (code FZSR-2024-0009)

ВВЕДЕНИЕ

Растущий спрос на органическую продукцию и ужесточение законодательных требований к пестицидам и минеральным удобрениям обуславливают необходимость поиска экологически безопасных методов повышения устойчивости растений к биотическим стрессам и достижения высокой продуктивности [1, 2]. В этом отношении наиболее актуальным является биотехнологический подход, основанный на использовании потенциала ростостимулирующих микроорганизмов. Перспективные представители таких микроорганизмов – факультативные мутуалисты рода *Bacillus*. Они обладают рядом ростостимулирующих свойств, а также не являются симбиотическими (не образуют внутри растений специфических анатомиче-

ских структур), что позволяет использовать их для повышения продуктивности разнообразных сельскохозяйственных культур [3, 4]. В настоящее время применение *Bacillus* в сельском хозяйстве ограничено препаратами на основе *B. subtilis*. В связи с этим внедрение в практику новых представителей этого рода с высокой ростостимулирующей активностью – актуальное направление, открывающее перспективы для разработки инновационных биопрепаратов и повышения эффективности растениеводства. Кроме того, возрастает интерес к применению симбиотических консорциумов микроорганизмов как альтернативы единичным штаммам [5, 6]. Это связано с тем, что в естественных условиях растения взаимодействуют не с отдельными микроорганизмами, а со сложным микробным сообществом [7].

Цель исследования – изучить ростостимулирующие свойства отечественных штаммов *B. amyloliquefaciens* В-11265 и *B. aryabhatai* В-13192, а также дать оценку возможности их совместного культивирования для интенсификации активности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в 2024 г. на базе лаборатории фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем Кемеровского государственного университета. В работе использовали штаммы бактерий, полученные из Национального биоресурсного центра Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт»: *B. amyloliquefaciens* В-11265 (штамм выделен из почвы, является антагонистом фитопатогенных бактерий) и *B. aryabhatai* В-13192.

Приготовление бактериальной суспензии

Из суточной культуры, выращенной на агаризованной питательной среде, готовили суспензию с использованием пептонной воды до коэффициента мутности по Мак-Фарланду, равного 0,8–1,0, с использованием денситометра Densichek plus («BioMerieux», Франция). Далее 1 мл полученной суспензии вносили в 10 мл жидкой питательной среды Лурия-Бертани в модификации Миллера («Биолайт», Россия). Культивировали в шейкере-инкубаторе LSI-3016R («Daihan Labtech», Южная Корея) при температуре 28 ± 2 °С и скорости вращения 110 об./мин в течение 24 ч. Культуральную жидкость отделяли от клеток при помощи центрифугирования в течение 10 мин при 7500 об./мин. Полученный супернатант использовали для дальнейшего анализа.

Для анализа производства индолил-3-уксусной кислоты к 1 мл супернатанта добавляли 1 мл реактива Сальковского. Выдерживали полученный раствор в течение 30 мин при температуре 22 ± 2 °С и определяли оптическую плотность полученного раствора спектрофотометрически при длине волны 535 нм. Одновременно в тех же условиях проводили контрольный опыт, в качестве контроля ис-

пользовали питательную среду. Оптическую плотность образца определяли по формуле

$$ОП = ОП_{об} - ОП_{к}, \quad (1)$$

где ОП – расчетная оптическая плотность образца; $ОП_{об}$ – экспериментальная оптическая плотность образца; $ОП_{к}$ – оптическая плотность контроля.

Количество синтезируемой индолил-3-уксусной кислоты определяли по градуировочному графику стандартного раствора кислоты от 0,2 до 10 мкг/мл [8].

Для анализа производства гиббереллиновой кислоты к 2 мл супернатанта приливали по 280 мл 1 М раствора цинка уксуснокислого 2-водного («ПрофСнаб», Россия) и 10,6% раствора калия ферроцианида III («ЛенРеактив», Россия), осуществляли быстрое перемешивание и центрифугировали при 4500 об./мин в течение 10 мин. Затем к 1 мл надосадочной жидкости добавляли 1 мл 30%-й соляной кислоты («ЛенРеактив», Россия). Раствор выдерживали в течение 75 мин при температуре 22 ± 2 °С. Оптическую плотность образцов определяли по отношению к 5%-й соляной кислоте с использованием спектрофотометра UV 1800 («Shimadzu», Япония) при длине волны 254 нм. Количественное определение синтезированной гиббереллиновой кислоты проводили с использованием калибровочного графика стандартного раствора кислоты («Диаэм», Россия) в диапазоне от 100 до 700 мкг/мл [9].

Для анализа производства сидерофоров к 2 мл супернатанта добавляли 1 мл свежеприготовленного реагента Chorme Azurol S, выдерживали в течение 20 мин при температуре 22 ± 2 °С. Оптическую плотность определяли спектрофотометрически при длине волны 630 нм. Одновременно в тех же условиях проводили контрольный опыт, в качестве контроля использовали питательную среду. Концентрацию сидерофоров определяли по формуле [10]

$$C_{сид} = \frac{ОП_{об} - ОП_{к}}{ОП_{к}} \times 100 \%, \quad (2)$$

где $C_{сид}$ – концентрация сидерофоров, %; $ОП_{об}$ – оптическая плотность образца; $ОП_{к}$ – оптическая плотность контрольного образца.

Биосовместимость исследуемых культур определяли методом лунок. Для этого готовили бактериальные суспензии по ранее описанной методике. На поверхность чашки Петри с агаризованной средой Лурия-Бертани в модификации Миллера наносили тест-культуру методом газона с помощью шпателя Дригальского. Далее делали лунку диаметром 5 мм и вносили в нее бесклеточную культуральную жидкость исследуемого бактериального штамма. Культивировали в течение 24 ч при температуре 28 ± 2 °C. Культуры считались биосовместимыми при отсутствии зоны ингибирования роста тест-культуры вокруг лунки¹.

Конструирование симбиотических бактериальных консорциумов

Для этого готовили бактериальные суспензии по ранее представленной методике. В стерильную жидкую среду Лурия-Бертани в модификации Миллера вносили бактериальные суспензии в соотношении согласно табл. 1.

Культивирование осуществляли в условиях, описанных ранее. Анализ производства индолил-3-уксусной и гиббереллиновой кислот и сидерофоров консорциумами проводили по методикам, описанным ранее.

Табл. 1. Соотношение штаммов в бактериальных консорциумах

Table 1. Ratio of strains in bacterial consortia

Номер консорциума	Соотношение	
	<i>B. amyloliquefaciens</i> B-11265	<i>B. aryabhattai</i> B-13192
К. 1	1	1
К. 2	1	2
К. 3	2	1
К. 4	1	3
К. 5	3	1
К. 6	2	3
К. 7	3	2

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования способности *B. amyloliquefaciens* B-11265 и *B. aryabhattai* B-13192 синтезировать фитогормоны и сидерофоры приведены в табл. 2.

Установлено, что штаммы способны синтезировать индолил-3-уксусную и гиббереллиновую кислоты, а также сидерофоры. Результаты исследования подтверждаются данными, полученными другими учеными. Так, Hui-juan Zhou et al. [11] отметили наличие метаболических путей YsnE, ответственных за синтез индолил-3-уксусной кислоты у штамма *B. amyloliquefaciens* HZ-12. Jiahui Shao et al. обнаружили синтез индолил-3-уксусной кислоты у *B. amyloliquefaciens* SQR9². Штамм *B. amyloliquefaciens* YL-25, исследованный в работе Jun Yuan et al., обладал комплексной ростостимулирующей активностью, в частности, синтезировал гиббереллин A3, индол-3-уксусную кислоту³. *B. amyloliquefaciens* MB-1600 продуцировал катехолат-сидерофор бациллибактин в условиях дефицита железа [12].

B. aryabhattai GR42 проявлял способность к синтезу сидерофоров и АСС-деаминазы [13]. *B. aryabhattai*, изученный в исследова-

Табл. 2. Результаты исследования ростостимулирующих свойств штаммов

Table 2. The results of the study of the growth-stimulating properties of strains

Показатель	Штамм	
	<i>B. amyloliquefaciens</i> B-11265	<i>B. aryabhattai</i> B-13192
ИУК, мкг/мл	$5,23 \pm 0,07$	$3,07 \pm 0,04$
ГК, мг/мл	$1,05 \pm 0,01$	$0,84 \pm 0,01$
Сидерофоры, %	$46,15 \pm 0,31$	$35,50 \pm 0,38$

¹Ирkitова А.Н., Каган Я.Р., Соколова Г.Г. Сравнительный анализ методов определения антагонистической активности молочнокислых бактерий // Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 3. С. 41–44.

²Shao J., Xu Z., Zhang N., Shen Q., Zhang R. Contribution of indole-3-acetic acid in the plant growth promotion by the rhizospheric strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 // Biology and Fertility of Soils. 2015. Vol. 51. P. 321–330. DOI: 10.1007/s00374-014-0978-8.

³Shao J., Xu Z., Zhang N., Shen Q., Zhang R. Contribution of indole-3-acetic acid in the plant growth promotion by the rhizospheric strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 // Biology and Fertility of Soils. 2015. Vol. 51. P. 321–330. DOI: 10.1007/s00374-014-0978-8.

нии Sol Lee et al., демонстрировал способность к синтезу индолил-3-уксусной кислоты, гиббереллинов и других ростостимулирующих веществ⁴.

С целью определения возможности совместного культивирования исследуемых штаммов микроорганизмов проведен анализ их биосовместимости. Результаты анализа свидетельствуют об отсутствии ингибирующего влияния культур друг на друга, что подтверждает возможность их совместного использования в составе микробного консорциума.

На следующем этапе исследования были сконструированы бактериальные консорциумы, соотношение исследуемых штаммов в которых приведено в табл. 1. Для того чтобы определить, какое соотношение позволяет добиться максимального синергетического эффекта, изучили способность консорциумов к синтезу целевых ростостимулирующих веществ. Результаты представлены на рис. 1–3.

Установлено, что синтез индолил-3-уксусной кислоты консорциумами варьировал от 2,86 до 5,31 мкг/мл питательной среды, гиббереллиновой кислоты – от 0,80 до 1,23 мг/мл, сидерофоров – от 35,86 до

51,27%. Наименьшей способностью к синтезу ростостимулирующих веществ обладал консорциум К. 4. У ряда других вариантов консорциумов отмечено снижение синтеза одного из целевых ростостимулирующих веществ в сравнении с отдельно взятыми бактериальными штаммами. Так, консорциум К. 2 продуцировал 3,56 мкг/мл индолил-3-уксусной кислоты, тогда как усредненный синтез данного фитогормона отдельными штаммами составил 3,79 мкг/мл. Консорциумы К. 6 и К. 7 продуцировали меньшее количество гиббереллиновой кислоты (0,91 и 0,85 мг/мл соответственно) в сравнении со средним значением отдельных штаммов (0,92 и 0,97 мг/мл соответственно). У консорциума К. 4 отмечено снижение синтеза сидерофоров. Наибольшей способностью к синтезу ростостимулирующих веществ обладал консорциум К. 5: индолил-3-уксусная кислота – 5,31 мкг/мл, гиббереллиновая кислота – 1,23 мг/мл, сидерофоров – 51,27%. Таким образом, для обеспечения максимального синергетического эффекта при совместном использовании *B. amyloliquefaciens* В-11265 и *B. aryabhatai* В-13192 следует использовать соотношение 3 : 1 соответственно.

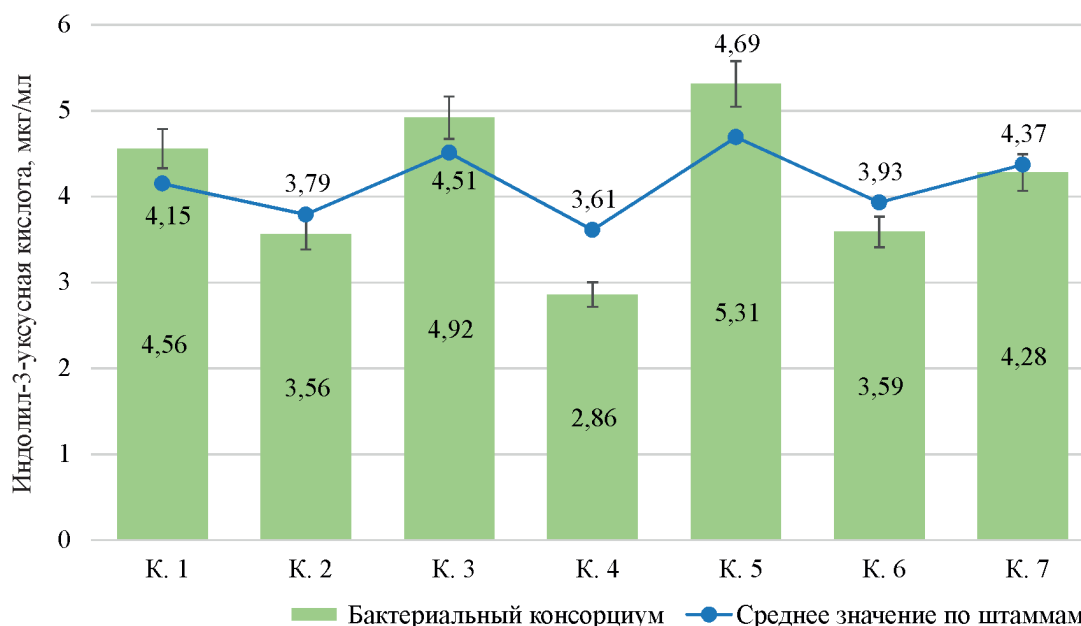


Рис. 1. Исследование количества синтезируемой индолил-3-уксусной кислоты консорциумами

Fig. 1. Investigation of the amount of indolyl-3-acetic acid synthesized by consortia

⁴Lee S., Ka J.O., Song H.G. Growth promotion of *Xanthium italicum* by application of rhizobacterial isolates of *Bacillus aryabhatai* in microcosm soil // *Journal of Microbiology*. 2012. Vol. 50. P. 45–49. DOI: 10.1007/s12275-012-1415-z.

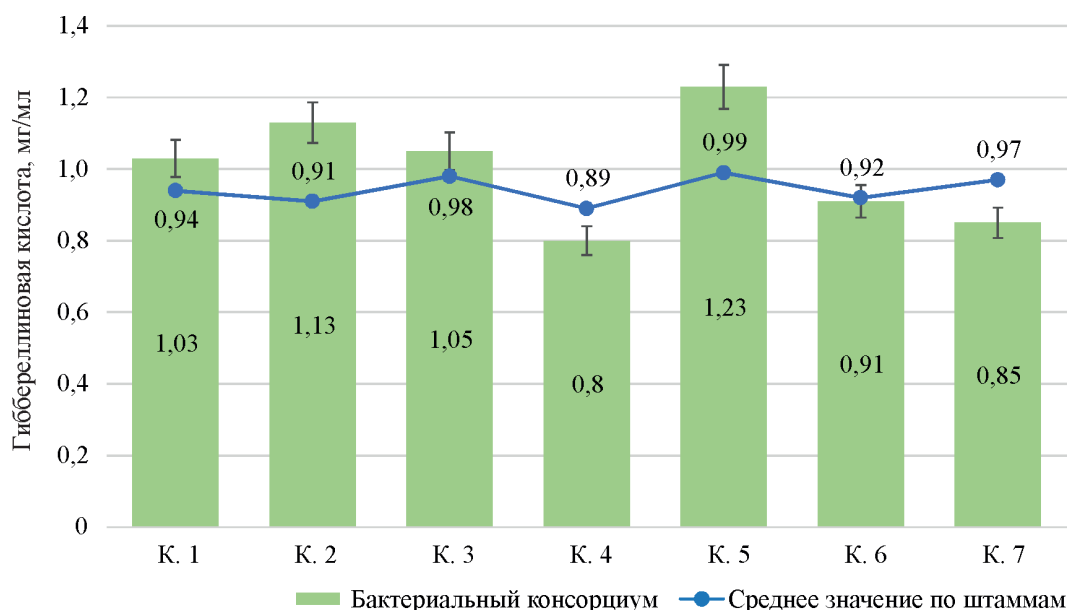


Рис. 2. Исследование количества синтезируемой гиббереллиновой кислоты консорциумами

Fig. 2. Investigation of the amount of gibberellic acid synthesized by consortia

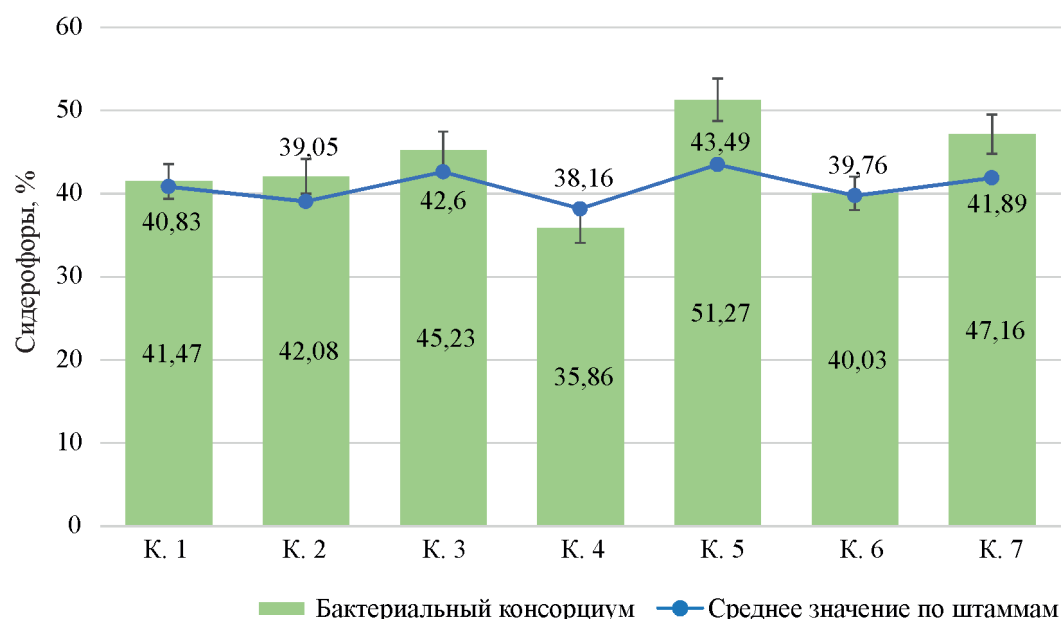


Рис. 3. Исследование количества синтезируемых сидерофоров консорциумами

Fig. 3. Investigation of the number of siderophores synthesized by consortia

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные штаммы *B. amyloliquefaciens* B-11265 и *B. aryabhatai* B-13192 обладают комплексными ростостимулирующими свойствами, включая синтез фитогормонов (индолил-3-уксусной и гиббереллиновой кислот) и сидерофоров. Штаммы являются биосовместимыми и не ингибируют рост и развитие друг друга. При совместном куль-

тивировании *B. amyloliquefaciens* B-11265 и *B. aryabhatai* B-13192 в соотношении 3 : 1 отмечен синергетический эффект, т.е. увеличение синтеза ростостимулирующих веществ в сравнении со средним значением отдельных штаммов. При культивировании в данном соотношении консорциум микроорганизмов продуцировал индолил-3-уксусную кислоту в размере 5,31 мкг/мл, ГК – 1,23 мг/мл, си-

дерофоры – 51,27%. Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале сконструированного консорциума для применения в сельском хозяйстве. Однако для разработки ростостимулирующего препарата на его основе необходимо провести ряд дополнительных исследований, направленных на изучение влияния штамма на сельскохозяйственные культуры в условиях лабораторных и полевых экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kumawat K.C., Razdan N., Saharan K. Rhizospheric microbiome: Biobased perspectives // *Microbiological Research*. 2022. Vol. 254. P. 126901. DOI: 10.1016/j.micres.2021.126901.
2. Asyakina L.K., Serazetdinova Yu.R., Frolova A.S., Fotina N.V., Neverova O.A., Petrov A.N. Antagonistic activity of extremophilic bacteria against phytopathogens in agricultural crops // *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023. Vol. 53. N 3. P. 565–575. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-3-2457.
3. Delaux P.M., Schornack S. Plant evolution driven by interactions with symbiotic and pathogenic microbes // *Science*. 2021. Vol. 371. N 6531. P. ea6605. DOI: 10.1126/science.aba6605.
4. Maksimov I.V., Sorokan A.V., Burkhanova G.F., Veselova S.V., Alekseev V.Y., Shein M.Y., Avalbaev A.M., Dhaware P.D., Mehetre G.T., Singh B.P., Khairullin R.M. Mechanisms of Plant Tolerance to RNA Viruses Induced by Plant-Growth-Promoting Microorganisms // *Plants*. 2019. Vol. 8. P. 575. DOI: 10.3390/plants8120575.
5. Santoyo G., Guzmán-Guzmán P., Parra-Cota F.I., Santos-Villalobos S.d.l., Orozco-Mosqueda M.d.C., Glick B.R. Plant Growth Stimulation by Microbial Consortia // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 219. DOI: 10.3390/agronomy11020219.
6. Faskhutdinova E.R., Fotina N.V., Neverova O.A., Golubtsova Y.V., Mudgal G., Asyakina L.K. Assessment of the ability of extremophilic microorganisms to stimulate the growth and development of agricultural seeds // *Foods and Raw Materials*. 2024. Vol. 12. N 2. P. 348–360. DOI: 10.21603/2308-4057-2024-2-613.
7. Khan S.T. Consortia-based microbial inoculants for sustaining agricultural activities // *Applied Soil Ecology*. 2022. Vol. 176. P. 104503. DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104503.
8. Sarmiento-López L.G., López-Meyer M., Maldonado-Mendoza I.E., Quiroz-Figueroa F.R., Sepúlveda-Jiménez G., Rodríguez-Monroy M. Production of indole-3-acetic acid by *Bacillus circulans* E9 in a low-cost medium in a bioreactor // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2022. Vol. 1. N 134. P. 21–28. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2022.03.007.
9. Асякина Л.К., Mudgal G., Тихонов С.Л., Ларичев Т.А., Фотина Н.В., Просеков А.Ю. Исследование потенциала естественной микробиоты яровой мягкой пшеницы в повышении урожайности // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 11. С. 12–17. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_11_12.
10. Kaur J., Mudgal G., Chand K., Singh G.B., Perveen K., Bukhari N.A., Debnath S., Mohan T.C., Charukesi R., Singh G. An exopolysaccharide-producing novel *Agrobacterium pusense* strain JAS1 isolated from snake plant enhances plant growth and soil water retention // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. N 1. P. 21330. DOI: 10.1038/s41598-022-25225-y.
11. Zhou H., She M., Li Z., Gao L., Gao J., Cai D., Yang Z., Chen S., Ma X. Metabolic pathways of ysnE involved in indole-3-acetic acid synthesis in *Bacillus amyloliquefaciens* HZ-12 // *Acta Microbiologica Sinica*. 2023. Vol. 63. N 2. P. 845–854. DOI: 10.13343/j.cnki.wsxb.20220500.
12. Dimopoulou A., Theologidis I., Benaki D., Koukounia M., Zervakou A., Tzima A., Diallinas G., Hatzinikolaou D.G., Skandalis N. Direct Antibiotic Activity of Bacillibactin Broadens the Biocontrol Range of *Bacillus amyloliquefaciens* MBI600 // *mSphere*. 2021. Vol. 6. N 4. P. e0037621. DOI: 10.1128/mSphere.00376-21.
13. Liu J.-s., Xie X.-c., Luo Y.-l., Deng B.-w., Bai Q.-y., Yan M.-c., Bai X. Isolation, Identification, and Biological Characteristics of a Cadmium-Resistant Endophytic Bacteria *Bacillus aryabhattai* // *Biotechnology Bulletin*. 2019. Vol. 35. N 2. P. 64–72. DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2018-0803.

REFERENCES

1. Kumawat K.C., Razdan N., Saharan K. Rhizospheric microbiome: Biobased emerging strategies for sustainable agriculture development and future perspectives. *Microbiological Research*, 2022, vol. 254, pp. 126901. DOI: 10.1016/j.micres.2021.126901.
2. Asyakina L.K., Serazetdinova Yu.R., Frolova A.S., Fotina N.V., Neverova O.A., Petrov A.N. Antagonistic activity of extremophilic bacteria against phytopathogens in agricultural crops. *Food Processing. Techniques and Technology*. 2023,

- vol. 53, no. 3, pp. 565–575. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-3-2457.
3. Delaux P.M., Schornack S. Plant evolution driven by interactions with symbiotic and pathogenic microbes. *Science*, 2021, vol. 371, no. 6531, pp. ea-ba6605. DOI: 10.1126/science.aba6605.
 4. Maksimov I.V., Sorokan A.V., Burkhanova G.F., Veselova S.V., Alekseev V.Y., Shein M.Y., Avalbaev A.M., Dhaware P.D., Mehetre G.T., Singh B.P., Khairullin R.M. Mechanisms of Plant Tolerance to RNA Viruses Induced by Plant-Growth-Promoting Microorganisms. *Plants*, 2019, vol. 8, pp. 575. DOI: 10.3390/plants8120575.
 5. Santoyo G., Guzmán-Guzmán P., Parra-Cota F.I., Santos-Villalobos S.d.l., Orozco-Mosqueda M.d.C., Glick B.R. Plant Growth Stimulation by Microbial Consortia. *Agronomy*, 2021, vol. 11, p. 219. DOI: 10.3390/agronomy11020219.
 6. Faskhutdinova E.R., Fotina N.V., Neverova O.A., Golubtsova Y.V., Mudgal G., Asyakina L.K. Assessment of the ability of extremophilic microorganisms to stimulate the growth and development of agricultural seeds. *Foods and Raw Materials*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 348–360. DOI: 10.21603/2308-4057-2024-2-613.
 7. Khan S.T. Consortia-based microbial inoculants for sustaining agricultural activities. *Applied Soil Ecology*, 2022, vol. 176, p. 104503. DOI: 10.1016/j.apsoil.2022.104503.
 8. Sarmiento-López L.G., López-Meyer M., Maldonado-Mendoza I.E., Quiroz-Figueroa F.R., Sepúlveda-Jiménez G., Rodríguez-Monroy M. Production of indole-3-acetic acid by *Bacillus circulans* E9 in a low-cost medium in a bioreactor. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2022, vol. 1, no. 134, pp. 21–28. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2022.03.007.
 9. Asyakina L.K., Mudgal G., Tikhonov S.L., Larichev T.A., Fotina N.V., Prosekov A.Yu. Study of the potential of natural microbiota of spring soft wheat to increase yield. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2023, vol. 37, no. 11, pp. 12–17. (In Russian). DOI: 10.53859/02352451_2023_37_11_12.
 10. Kaur J., Mudgal G., Chand K., Singh G.B., Perveen K., Bukhari N.A., Debnath S., Mohan T.C., Charukesi R., Singh G. An exopolysaccharide-producing novel *Agrobacterium* pusense strain JAS1 isolated from snake plant enhances plant growth and soil water retention. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, no. 1, p. 21330. DOI: 10.1038/s41598-022-25225-y.
 11. Zhou H., She M., Li Z., Gao L., Gao J., Cai D., Yang Z., Chen S., Ma X. Metabolic pathways of *ysnE* involved in indole-3-acetic acid synthesis in *Bacillus amyloliquefaciens* HZ-12. *Acta Microbiologica Sinica*, 2023, vol. 63, no. 2, pp. 845–854. DOI: 10.13343/j.cnki.wsxb.20220500.
 12. Dimopoulou A., Theologidis I., Benaki D., Koukounia M., Zervakou A., Tzima A., Diallinas G., Hatzinikolaou D.G., Skandalis N. Direct Antibiotic Activity of Bacillibactin Broadens the Biocontrol Range of *Bacillus amyloliquefaciens* MBI600. *mSphere*, 2021, vol. 6, no. 4, p. e0037621. DOI: 10.1128/mSphere.00376-21.
 13. Liu J.-s., Xie X.-c., Luo Y.-l., Deng B.-w., Bai Q.-y., Yan M.-c., Bai X. Isolation, Identification, and Biological Characteristics of a Cadmium-Resistant Endophytic Bacteria *Bacillus aryabhattai*. *Biotechnology Bulletin*, 2019, vol. 35, no. 2, pp. 64–72. DOI: 10.13560/j.cnki.biotech.bull.1985.2018-0803.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Серазетдинова Ю.Р.**, младший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 650000, Кемерово, ул. Красная, 6; e-mail: serazetdinova2000@mail.ru

Богачёва Н.Н., младший научный сотрудник
Фасхутдинова Е.Р., младший научный сотрудник

Асыкина Л.К., доктор технических наук, доцент

Проскурякова Л.А., доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой

AUTHOR INFORMATION

✉ **Yulia P. Serazetdinova**, Junior Researcher; **address:** 6, Krasnaya St., Kemerovo, 650000, Russia; e-mail: serazetdinova2000@mail.ru

Natalia N. Bogacheva, Junior Researcher

Elizaveta R. Faskhutdinova, Junior Researcher

Lyudmila K. Asyakina, Doctor of Science in Engineering, Associate Professor

Larisa A. Proskuryakova, Doctor of Science in Biology, Professor, Department Head

Дата поступления статьи / Received by the editors 16.04.2024
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 27.05.2024
Дата публикации / Published 22.07.2024