

Синтез индол 3 уксусной кислоты при совместном культивировании дрожжей и бактерий

Александр С. Пронин ¹	proninbio@gmail.com	 0000-0001-5196-9418
Татьяна С. Колмыкова ¹	tskolmykova@ya.ru	 0000-0002-0581-8288
Александр С. Лукаткин ²	alexlykatkin@ya.ru	 0000-0002-8174-5367

1 Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, ул. Большевикская 33, Россия

2 Лицей № 31.430034 Россия, г. Саранск, ул. Metallurgov, 2, Россия

Аннотация. Работа посвящена исследованию штаммов дрожжей и бактерий, которые являются потенциальными компонентами для состава при разработке биопрепаратов для растений. Эксперименты с совместным культивированием бактерий и дрожжей способные к стимуляции роста растений предоставляют основу для разработки комплексных биопрепаратов, которые могут воздействовать на сельскохозяйственные культуры и оцениваться по их фитогормональной активности. В работе дана оценка возможности синтеза индо-3 уксусной кислоты при совместном культивировании бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aerofaciens* B-5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317. Мы использовали современные методы для оценки метаболитов микроорганизмов такие как, тонкослойная хроматография для оценки аминокислотного состава, и реакцию сальковского для обнаружения индол-3 уксусной кислоты в культуральной жидкости. На первом этапе работы мы показали, что конкурентного взаимодействия между бактериями и грибами не было. Максимальная концентрация колония образующих единиц при совместном культивировании *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* составила $(3 \pm 0,2) \times 10^8$ и $(8 \pm 0,2) \times 10^6$ КОЕ/мл. В ходе исследования обнаружили, что микроорганизмы *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* при совместном культивировании способны синтезировать индол-3 уксусную кислоту. В исследованиях с добавлением триптофана обнаружили, что экзогенное введение аминокислоты стимулирует накопление фитогормонов в КЖ только у *P. chlororaphis*. Таким образом, мы предполагаем, что основным источником триптофана при совместном культивировании микроорганизмов является *S. cerevisiae*. Полученные данные являются предпосылкой к созданию комплексного биологического препарата для обработки растений и подтверждает нашу гипотезу о возможности совместного культивирования микроорганизмов относящихся к различной таксономическим категориям.

Ключевые слова: *Pseudomonas chlororaphis*, *Saccharomyces cerevisiae*, индол 3 уксусная кислота, триптофан, PGBPB, PGPF.

Synthesis of indole 3 acetic acid during co-cultivation of yeast and bacteria

Alexander S. Pronin ¹	proninbio@gmail.com	 0000-0001-5196-9418
Tatiana S. Kolmykova ¹	tskolmykova@ya.ru	 0000-0002-0581-8288
Alexander S. Lukatkin ²	alexlykatkin@ya.ru	 0000-0002-8174-5367

1 National Research Mordovia State University, 68, ul. Bolshevistskaya, Saransk, 430005 Russia, e-mail

2 Lyceum No. 31, 2, ul. Metallurgov, Saransk, 430034 Russia.

Abstract. The work is dedicated to the study of yeast and bacterial strains that are potential components for developing bio-preparations for plants. Experiments involving the co-cultivation of bacteria and yeast capable of stimulating plant growth provide a basis for the development of complex bio-preparations that can impact agricultural crops and be evaluated based on their phytohormonal activity. The study evaluates the possibility of synthesizing indole-3-acetic acid during the co-cultivation of *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aerofaciens* B 5326 bacteria and *Saccharomyces cerevisiae* Y 4317 yeast. Modern methods were employed to assess the microorganisms' metabolites, such as thin-layer chromatography for amino acid composition evaluation and the Salkowski reaction for detecting indole-3-acetic acid in the culture fluid. In the initial stages of the work, it was demonstrated that there was no competitive interaction between bacteria and fungi. The maximum concentration of colony-forming units during the co-cultivation of *P. chlororaphis* and *S. cerevisiae* was $(3 \pm 0.2) \times 10^8$ and $(8 \pm 0.2) \times 10^6$ CFU/ml, respectively. The study revealed that *P. chlororaphis* and *S. cerevisiae* could synthesize indole-3-acetic acid during co-cultivation. Experiments with the addition of tryptophan showed that the exogenous introduction of the amino acid stimulates the accumulation of phytohormones in the culture fluid only for *P. chlororaphis*. Therefore, we hypothesize that *S. cerevisiae* is the main source of tryptophan during the co-cultivation of microorganisms. The obtained data serve as a basis for creating a complex biological preparation for plant treatment and confirm our hypothesis regarding the possibility of co-cultivating microorganisms belonging to different taxonomic categories.

Keywords: *Pseudomonas chlororaphis*, *Saccharomyces cerevisiae*, indole 3 acetic acid, tryptophan, PGBPB, PGPF.

Для цитирования

Пронин А.С., Колмыкова Т.С., Лукаткин А.С. Синтез индол 3 уксусной кислоты при совместном культивировании дрожжей и бактерий // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 4. С. 91–95. doi:10.20914/2310-1202-2023-4-91-95

For citation

Pronin A.S., Kolmykova T.S., Lukatkin A.S. Synthesis of indole 3 acetic acid during co-cultivation of yeast and bacteria. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 4. pp. 91–95. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-4-91-95

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

Введение

На сельскохозяйственном мировом рынке наблюдается растущий интерес к использованию биологических средств защиты растений и ростовых стимуляторов. Эта тенденция подчеркнута исследованиями [3]. Производство таких препаратов включает использование различных культур микроорганизмов, таких как ростопромо-тирующие бактерии (PGPB) и грибы (PGPF) [4, 5]. Современные исследования акцентируют внимание на способности PGPB и PGPF к синтезу природных гормонов роста, таких как ауксины, цитокинины и гиберилины [1, 7, 8]. Производство этих веществ микробиологическим путем может привести к экономическому эффекту в сельском хозяйстве. Некоторые исследования демонстрируют, что определенные штаммы *Pseudomonas* не только обладают фунгицидными свойствами, но и способны синтезировать ауксины [6]. Наши исследования фокусировались на совместном культивировании бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B 5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y 4317, где мы выявили их способность синтезировать фитогормоны и накапливать их в культуральной жидкости. Эксперименты с совместным культивированием PGPB [13] и PGPF [14, 15] предоставляют основу для разработки комплексных биопрепаратов, которые могут воздействовать на сельскохозяйственные культуры и оцениваться по их фитогормональной активности.

Материалы и методы

Цель исследования: оценка возможности синтеза IAA при совместном культивировании бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B-5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317.

Задачи: 1) исследование возможности совместного культивирования PGPB и PGPF 2) исследование способности синтезировать IAA *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae* в присутствии/отсутствии L-триптофана 3) Оценка способности *S. Cerevisiae* синтезировать триптофан.

В качестве посадочного материала использовали штаммы бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B-5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317 (Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИГенетика).

Режимы культивирования микроорганизмов и состав питательной среды. На первом этапе культивирование исследуемых микроорганизмов осуществляли отдельно в колбах объемом 250 мл на шейкере-инкубаторе SPH-2102 (BIORUS, Минск, Беларусь) при температуре 28 °C и частоте

перемешивания 130 RPM. Среда для выращивания микроорганизмов содержала глюкозу 10 г/л, NaNO₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃, KH₂PO₄ – по 0,5 г/л. Дрожжевой экстракт 1 г/л. Спустя 48 ч титр посадочного материала составил 10⁷ и 10⁵ КОЕ/мл для *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae*, соответственно. На втором этапе из двух колб отбирали по 15 мл культуральной жидкости и переносили в колбу объемом 500 мл. Состав питательной среды для совместного роста микроорганизмов: свекловичная меласса 25 г/л пептон 0,5 г/л, дрожжевой экстракт 1 г/л, NaNO₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃, KH₂PO₄ – по 0,5 г/л.

Определение содержания аминокислот: определяли методом ТСХ. Использовали стандарты 20 аминокислот фирмы Sigma (США). Пробы культуральной жидкости, отбирали по 1,5 мл, центрифугировали на центрифуге MiniSpin® (Eppendorf, Гамбург, Германия) при 6000 об/мин в течение 20 мин. ТСХ-пластинки промывали смесью хлороформ-метанол (1:1 по объему) и активировали в течение 15 мин при 120 °C. Объем наносимых проб – 0,5 мкл. Подвижная фаза состояла из изобутанола, изопропанола, воды и ледяной уксусной кислоты (5:4:3:0.2 по объему), Насыщение камеры – 1,0–1,5 ч. Время разделения 1,5–2 ч.

Количественно аминокислоты определяли на денситометре CS-920 фирмы Shimadzu (Киото, Япония) и TLC Scanner 3 (Camag, Муттенц, Швейцария) при длине волны 500 нм.

Подсчёт клеток микроорганизмов осуществляли на фиксированных окрашенных мазках методом Виноградского-Брида (Теппер, 2004).

Для обнаружения в культуральной жидкости ауксина и определения его концентрации проводили реакцию Сальковского [9]. После прохождения цветной реакции концентрацию IAA определяли фотометрически на спектрофотометре UV-1900 (Shimadzu, Киото, Япония) при длине волны 546 нм.

Результаты

На первом этапе работы проводили совместное культивирование *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae*. В ходе исследования мы обнаружили активный рост колоний бактерий и дрожжей при совместном культивировании на мелассной среде. Анализируя полученную картину исследования, мы не обнаружили конкурентного взаимодействия между микроорганизмами двух таксономических групп. Это позволило нам предположить, что в КЖ отсутствуют ростингибирующие для данных организмов метаболиты.

Максимальная концентрация при совместном культивировании *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae* составила $(3 \pm 0,2) \times 10^8$ и $(8 \pm 0,2) \times 10^6$ КОЕ/мл (рисунок 1).

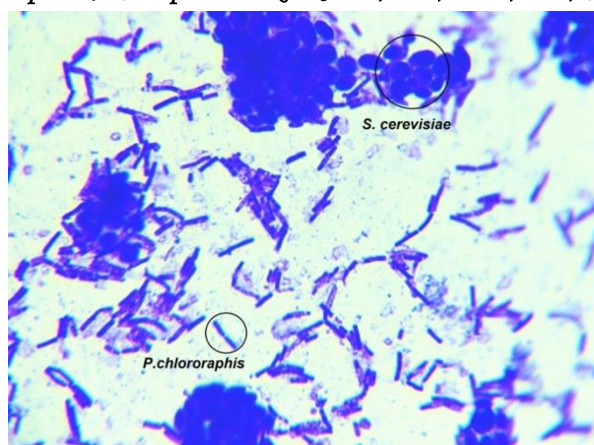


Рисунок 1. Микроскопия *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae* при совместном культивировании

Figure 1. Microscopy of *P. chlororaphis* and *S. Cerevisiae* during co-cultivation

Основным показателем эффективности биопрепаратов является жизнеспособность клеток микроорганизмов и их способность синтезировать в среду биологически активные вещества, в нашем случае – фитогормоны [17–18]. В нашем исследовании в качестве фитогормонального маркера в КЖ служила индол 3-уксусная кислота. Мы сравнили способность синтезировать IAA микроорганизмами при раздельном культивировании при добавлении аминокислоты триптофана (100 мкг/мл) и в её отсутствии (контроль) [19–20]

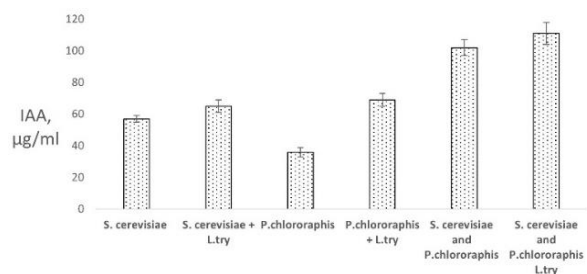


Рисунок 2. Содержание IAA в культуральной жидкости исследуемых микроорганизмов

Figure 2. IAA content in the culture liquid of the studied microorganisms

При раздельном культивировании микроорганизмов содержание IAA в культуральной жидкости *S. cerevisiae* составило 57 ± 3 мкг/мл и 36 ± 2 мкг/мл в КЖ *P. chlororaphis* (рисунок 2). Очевидно, что дрожжи являются основным продуцентом IAA. При добавлении в среду для роста клеток аминокислоты L-триптофан, содержание IAA достоверно увеличилось по сравнению со средой без добавления аминокислоты только в вариантах с бактериями *P. chlororaphis* B-5326. Содержание IAA увеличилось по сравнению с контролем на 78%. В вариантах с дрожжами *S. cerevisiae* содержание IAA увеличивалось по сравнению с контролем только на 14%. Мы предположили, что дрожжи способны самостоятельно синтезировать L-триптофан. При совместном

культивировании *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* мы зафиксировали увеличение содержания IAA в культуральной жидкости более чем в два раза, по сравнению с раздельным способом культивирования. Без добавления L-триптофана содержания IAA составило 102 ± 5 , при добавлении аминокислоты содержание IAA увеличилось незначительно в пределах ошибки (111 ± 7 мкг/мл).

Поэтому на следующем этапе мы экспериментальным методом изучили способность данного штамма дрожжей продуцировать L-триптофан. Методом ТСХА обнаружили, что в ходе роста исследуемого штамма дрожжей в КЖ накапливается аминокислота триптофан в концентрации 44 мкг/мл (рисунок 3).

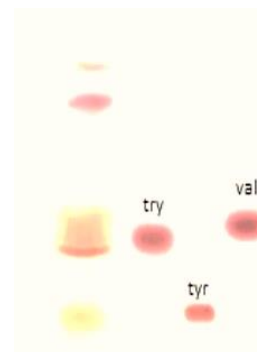


Рисунок 3. Хроматограмма аминокислотного состава *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317

Figure 3. Chromatogram of the amino acid composition of *Saccharomyces cerevisiae* Y 4317

Полученные данные подтверждают, что при совместном росте *P. chlororaphis* B-5326 и *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317, последние выделяют в среду достаточно аминокислоты для биосинтеза IAA микроорганизмами. Следовательно, совместное культивирование дрожжей и бактерий позволяет не только повысить жизнеспособность бактерий в логарифмическую фазу роста, но и накапливать в среде больше IAA за счёт синтеза дрожжами триптофана.

Обсуждение

Известно, что L-триптофан является предшественником индол-3 – уксусной кислоты в метаболизме растений, некоторых бактерий и грибов. Бактерии рода *Pseudomonas* способны синтезировать IAA по индол-3-ацетамидному пути, где основным компонентом является L-триптофан. Ключевым ферментом при синтезе является индолацетамид гидролаза [2] основным предшественником – L-триптофан. В ранее проведенных исследованиях [3] показано, что бактерии *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas sp* способны синтезировать IAA в концентрации 16 µg/mL без присутствия экзогенного L-триптофана и 108 µg/mL при его добавлении в среду в концентрации 0,2 г/л [16] Результаты нашего эксперимента согласуются с вышеописанными.

Но в своей работе мы использовали более низкую концентрацию триптофана.

Другие авторы так же отмечают способность некоторых дрожжей таких как *Sporobolomyces*, *Taphrina*, *Metschnikowia*, *Aureobasidium* синтезировать ауксины [11]. В исследованиях [10], показано, что *S. cerevisiae* с делециями в двух генах (*Ald*) не способен конвертировать радиоактивно меченый *Trp* в *IAA*, но продуцирует *IAA* в отсутствие *L-Trp* и на уровнях выше, чем у дикого типа штамма дрожжей. Эти данные предполагают, что дрожжи могут иметь несколько путей синтеза *IAA*. Таким образом, при совместном росте с *S. cerevisiae* и *P. chlororaphis* увеличение синтеза *IAA* у последних, можно объяснить способностью накапливать триптофан в культуральной жидкости *S. cerevisiae*.

Заключение

Настоящая работа посвящена изучению возможности совместного культивирования PGPB и PGPF микроорганизмов. Мы показали,

что конкурентного взаимодействия между бактериями и грибами не было. Максимальная концентрация колония образующих единиц при совместном культивировании *P. chlororaphis* и *S. Cerevisiae*. составила $(3 \pm 0,2) \times 10^8$ и $(8 \pm 0,2) \times 10^6$ КОЕ/мл.

В ходе исследования обнаружили, что микроорганизмы *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* при совместном культивировании способны синтезировать *IAA* в максимальной концентрации 111 ± 7 мкг/мл. В исследованиях с добавлением триптофана обнаружили, что экзогенное введение аминокислоты стимулирует накопление *IAA* в КЖ только у *P. chlororaphis*. Таким образом, мы предполагаем, что основным источником триптофана при совместном культивировании микроорганизмов является *S. cerevisiae*. Полученные данные являются предпосылкой к созданию комплексного биологического препарата для обработки растений и подтверждает нашу гипотезу о возможности совместного культивирования PGPB и PGPF.

Литература

- 1 Batabyal B. Plant Growth Promoting Fungi: Mechanisms and Applications for Crop Productivity // *International Journal of Pharmacy & Life Sciences*. 2021. V. 12. №. 1.
- 2 Duca D.R., Glick B.R. Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria // *Applied microbiology and biotechnology*. 2020. V. 104. P. 8607-8619.
- 3 Kocira S., Hara P., Szparaga A., Czerwińska E. et al. Evaluation of the Effectiveness of the Use of Biopreparations as Seed Dressings // *Agriculture*. 2020. V. 10. №. 4. P. 90.
- 4 Kumar A., Singh S., Gaurav A.K., Srivastava S. et al. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants // *Frontiers in Microbiology*. 2020. V. 11. P. 1216. doi: 10.3389/fmicb.2020.01216
- 5 Li M., Wang J., Yao T., Wang Z. et al. Isolation and characterization of cold-adapted PGPB and their effect on plant growth promotion // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2021. V. 31. №. 9. P. 1218. doi: 10.4014/jmb.2105.05012
- 6 McClerklin S.A., Lee S.G., Harper C.P., Nwumeh R. et al. Indole-3-acetaldehyde dehydrogenase-dependent auxin synthesis contributes to virulence of *Pseudomonas syringae* strain DC3000 // *PLoS pathogens*. 2018. V. 14. №. 1. P. e1006811.
- 7 Olanrewaju O.S., Glick B.R., Babalola O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017. V. 33. P. 1-16.
- 8 Oliveira J.T.C., Pereira A., Souza A.J., Silva G.T. et al. Plant growth-promoting mechanisms and genetic diversity of bacteria strains isolated from *Brachiaria humidicola* and *Brachiaria decumbens* // *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2021. V. 93.
- 9 Patten C.L., Glick B.R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system // *Applied and environmental microbiology*. 2002. V. 68. №. 8. P. 3795-3801. doi: 10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002
- 10 Rao R.P., Hunter A., Kashpur O., Normanly J. Aberrant synthesis of indole-3-acetic acid in *Saccharomyces cerevisiae* triggers morphogenic transition, a virulence trait of pathogenic fungi // *Genetics*. 2010. V. 185. №. 1. P. 211-220. doi: 10.1534/genetics.109.112854
- 11 Streletsii R.A., Kachalkin A.V., Glushakova A.M., Demin V.V. et al. Quantitative determination of indole-3-acetic acid in yeasts using high performance liquid chromatography—tandem mass spectrometry // *Microbiology*. 2016. V. 85. P. 727-736.
- 12 Теплер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии: учебное пособие для вузов; 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2004.
- 13 Ajijah N., Fiodor A., Pandey A.K., Rana A. et al. Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) with biofilm-forming ability: A multifaceted agent for sustainable agriculture // *Diversity*. 2023. V. 15. №. 1. P. 112.
- 14 Wang C., Lin Y., Huang J., Song H. et al. *Pseudomonas aeruginosa* targeting cascade photodynamic nanoassemblies for efficient antibacterial and anti-inflammatory therapy // *Nano Today*. 2023. V. 51. P. 101892. doi: 10.1016/j.nantod.2023.101892
- 15 Rabert G.A., Dhivya A., Navaneetha P., Mathivanan S. et al. A study on the impact of Plant Growth Promoting Fungus (PGPF) and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers for *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench // *Innovations in Agriculture*. 2023. V. 4. P. 1-1.
- 16 Onrit N., Boonlue S., Mongkolthanaruk W., Jogloy S. et al. Alternative Nitrogen Source for Producing Crude Extracted *IAA* and Suitable Method for Enhancing the Germination of Jerusalem Artichoke // *Waste and Biomass Valorization*. 2023. V. 14. №. 5. P. 1497-1508.
- 17 Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биопрепаратов в посеве озимой пшеницы на светлосерой лесной почве // *Земледелие*. 2021. №. 1. С. 27-30.
- 18 Djami-Tchatchou A.T., Harrison G.A., Harper C.P., Wang R. et al. Dual role of auxin in regulating plant defense and bacterial virulence gene expression during *Pseudomonas syringae* PtoDC3000 pathogenesis // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2020. V. 33. №. 8. P. 1059-1071.
- 19 Uzma M., Iqbal A., Hasnain S. Drought tolerance induction and growth promotion by indole acetic acid producing *Pseudomonas aeruginosa* in *Vigna radiata* // *PloS one*. 2022. V. 17. №. 2. P. e0262932. doi: 10.1371/journal.pone.0262932
- 20 Zhang B.X., Li P.S., Wang Y.Y., Wang J.J. et al. Characterization and synthesis of indole-3-acetic acid in plant growth promoting *Enterobacter* sp // *RSC advances*. 2021. V. 11. №. 50. P. 31601-31607. doi: 10.1039/D1RA05659J

References

- 1 Batabyal B. Plant Growth Promoting Fungi: Mechanisms and Applications for Crop Productivity. International Journal of Pharmacy & Life Sciences. 2021. vol. 12. no. 1.
- 2 Duca D.R., Glick B.R. Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria. Applied microbiology and biotechnology. 2020. vol. 104. pp. 8607-8619.
- 3 Kocira S., Hara P., Szparaga A., Czerwińska E. et al. Evaluation of the Effectiveness of the Use of Biopreparations as Seed Dressings. Agriculture. 2020. vol. 10. no. 4. pp. 90.
- 4 Kumar A., Singh S., Gaurav A.K., Srivastava S. et al. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. Frontiers in Microbiology. 2020. vol. 11. pp. 1216. doi: 10.3389/fmicb.2020.01216
- 5 Li M., Wang J., Yao T., Wang Z. et al. Isolation and characterization of cold-adapted PGPB and their effect on plant growth promotion. Journal of Microbiology and Biotechnology. 2021. vol. 31. no. 9. pp. 1218. doi: 10.4014/jmb.2105.05012
- 6 McClerklin S.A., Lee S.G., Harper C.P., Nwumeh R. et al. Indole-3-acetaldehyde dehydrogenase-dependent auxin synthesis contributes to virulence of *Pseudomonas syringae* strain DC3000. PLoS pathogens. 2018. vol. 14. no. 1. pp. e1006811.
- 7 Olanrewaju O.S., Glick B.R., Babalola O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2017. vol. 33. pp. 1-16.
- 8 Oliveira J.T.C., Pereira A., Souza A.J., Silva G.T. et al. Plant growth-promoting mechanisms and genetic diversity of bacteria strains isolated from *Brachiaria humidicola* and *Brachiaria decumbens*. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 2021. vol. 93.
- 9 Patten C.L., Glick B.R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and environmental microbiology. 2002. vol. 68. no. 8. pp. 3795-3801. doi: 10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002
- 10 Rao R.P., Hunter A., Kashpur O., Normanly J. Aberrant synthesis of indole-3-acetic acid in *Saccharomyces cerevisiae* triggers morphogenic transition, a virulence trait of pathogenic fungi. Genetics. 2010. vol. 185. no. 1. pp. 211-220. doi: 10.1534/genetics.109.112854
- 11 Streletskii R.A., Kachalkin A.V., Glushakova A.M., Demin V.V. et al. Quantitative determination of indole-3-acetic acid in yeasts using high performance liquid chromatography—tandem mass spectrometry. Microbiology. 2016. vol. 85. pp. 727-736.
- 12 Tepper E.3., Shilnikova V.K., Pereverzeva G.I. Workshop on microbiology: textbook for universities. M., Bustard, 2004. (in Russian).
- 13 Ajijah N., Fiodor A., Pandey A.K., Rana A. et al. Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) with biofilm-forming ability: A multifaceted agent for sustainable agriculture. Diversity. 2023. vol. 15. no. 1. pp. 112.
- 14 Wang C., Lin Y., Huang J., Song H. et al. *Pseudomonas aeruginosa* targeting cascade photodynamic nanoassemblies for efficient antibacterial and anti-inflammatory therapy. Nano Today. 2023. vol. 51. pp. 101892. doi: 10.1016/j.nantod.2023.101892
- 15 Rabert G.A., Dhivya A., Navaneetha P., Mathivanan S. et al. A study on the impact of Plant Growth Promoting Fungus (PGPF) and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as biofertilizers for *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. Innovations in Agriculture. 2023. vol. 4. pp. 1-1.
- 16 Onrit N., Boonlue S., Mongkolthanaruk W., Jogloy S. et al. Alternative Nitrogen Source for Producing Crude Extracted IAA and Suitable Method for Enhancing the Germination of Jerusalem Artichoke. Waste and Biomass Valorization. 2023. vol. 14. no. 5. pp. 1497-1508.
- 17 Zavalin A.A., Nakaryakov A.M. Efficiency of using biological products in sowing winter wheat on light gray forest soil. Agriculture. 2021. no. 1. pp. 27-30. (in Russian).
- 18 Djamit-Tchatchou A.T., Harrison G.A., Harper C.P., Wang R. et al. Dual role of auxin in regulating plant defense and bacterial virulence gene expression during *Pseudomonas syringae* PtoDC3000 pathogenesis. Molecular Plant-Microbe Interactions. 2020. vol. 33. no. 8. pp. 1059-1071.
- 19 Uzma M., Iqbal A., Hasnain S. Drought tolerance induction and growth promotion by indole acetic acid producing *Pseudomonas aeruginosa* in *Vigna radiata*. PloS one. 2022. vol. 17. no. 2. pp. e0262932. doi: 10.1371/journal.pone.0262932
- 20 Zhang B.X., Li P.S., Wang Y.Y., Wang J.J. et al. Characterization and synthesis of indole-3-acetic acid in plant growth promoting Enterobacter sp. RSC advances. 2021. vol. 11. no. 50. pp. 31601-31607. doi: 10.1039/D1RA05659J

Сведения об авторах

Александр С. Пронин аспирант, кафедра общей биологии и экологии, МГУ им Н.П. Огарева, ул. Большевикская 33, Саранск, 43005, proninbio@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5196-9418>

Татьяна С. Колмыкова к.с.н, директор, МОУ Лицей 31, ул. Металлургов 2, Саранск, 430034, tskolmykova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0581-8288>

Александр С. Лукаткин д.б.н., профессор, кафедра общей биологии и экологии, МГУ им Н.П. Огарева, ул. Большевикская 33, Саранск, 43005, alexlykatkin@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8174-5367>

Information about authors

Alexander S. Pronin graduate student, general biology and ecology department, Moscow State University named after N.P. Ogareva, st. Bolshhevistskaya 33, Saransk, 43005, proninbio@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5196-9418>

Tatiana S. Kolmykova Cand. Sci. (Soc.), director, Municipal educational institution Lyceum 31, st. Metallurgov 2, Saransk, 430034, tskolmykova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0581-8288>

Alexander S. Lukatkin Dr. Sci. (Biol.), professor, general biology and ecology department, Moscow State University named after N.P. Ogareva, st. Bolshhevistskaya 33, Saransk, 43005, alexlykatkin@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8174-5367>

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 11/10/2023	После редакции 01/11/2023	Принята в печать 22/11/2023
Received 11/10/2023	Accepted in revised 01/11/2023	Accepted 22/11/2023