

М.В. Якименко
И.Ю. Татаренко
А.И. Сорокина ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Россия

✉ aziradot@mail.ru

Поступила в редакцию: 02.02.2024

Одобрена после рецензирования: 02.06.2024

Принята к публикации: 17.06.2024

Maria V. Yakimenko
Igor Yu. Tatarenko
Arina I. Sorokina ✉

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russia

✉ aziradot@mail.ru

Received by the editorial office: 02.02.2024

Accepted in revised: 02.06.2024

Accepted for publication: 17.06.2024

Культурально-физиологическая характеристика штаммов *Sinorhizobium fredii* селекции ВНИИ сои и их способность продуцировать витамины B_9 и B_{12}

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Микроорганизмы, стимулирующие рост растений (PGPB), в том числе и ризобии, с помощью различного физиологического, молекулярного и биохимического воздействий улучшают продуктивность растений. Из вышеперечисленных факторов наименее изучена роль витаминов. Для оценки способности ризобий продуцировать витамины B_9 и B_{12} были отобраны штаммы вида *Sinorhizobium fredii*, которые представляют собой однородную группу и имели хороший и обильный рост биомассы на различных питательных средах.

Методы. Культурально-физиологические свойства штаммов изучали общепринятыми лабораторными микробиологическими методами. Пересевы коллекционных штаммов ризобий, изучение различных свойств этих бактерий проводили на питательной среде МДА и МРС, а также на производственных питательных средах RM и TY производства фирмы HIMEDIA (Индия). Определение чувствительности штаммов *S. fredii* к антибиотикам проводили диско-диффузным методом. Содержание в бактериальной массе ризобий витаминов B_9 и B_{12} определяли хемилюминесцентным иммунным методом с использованием иммунохимических систем Access на хемилюминесцентном анализаторе Access2.

Результаты. Установлено, что изучаемые штаммы *S. fredii* имеют хороший или обильный рост бактериальной массы на питательных средах МРС, МДА, RM и TY. Они каталазоположительные, обладают высокой и средней устойчивостью к АБП. Наибольшую концентрацию витамина B_9 в биомассе синтезировали штаммы СБ-39 (75,0 пг/мл), ББ-49 (66,6 пг/мл) и ТБ-488 (48,9 пг/мл), а витамина B_{12} — штаммы ББ-49, СБ-39 (1500 пг/мл).

Ключевые слова: ризобии, витамины, культуральные свойства, питательные среды, антибиотики

Для цитирования: Якименко М.В., Татаренко И.Ю., Сорокина А.И. Культурально-физиологическая характеристика штаммов *Sinorhizobium fredii* селекции Всероссийского научно-исследовательского института сои и их способность продуцировать витамины B_9 и B_{12} . *Аграрная наука*. 2024; 384(7): 166–169.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-166-169>

© Якименко М.В., Татаренко И.Ю., Сорокина А.И.

Cultural and physiological characteristics of *Sinorhizobium fredii* strains selected by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean and their ability to produce vitamins B_9 and B_{12}

ABSTRACT

Relevance. Microorganisms that stimulate plant growth (PGPB), including rhizobia, improve plant productivity through various physiological, molecular and biochemical effects. Of the above factors, the role of vitamins has been studied to a lesser extent. For assessing the ability of rhizobia to produce vitamins B_9 and B_{12} , *Sinorhizobium fredii* strains were selected, which represent a homogeneous group and had good and abundant biomass growth on various nutrient media.

Methods. The cultural and physiological properties of the strains were studied using generally accepted laboratory microbiological methods. Passages of collection strains of rhizobia and the study of various properties of these bacteria were carried out on nutrient media MDA and MRS, and on production nutrient media RM and TY produced by HIMEDIA company (India). Determination of the sensitivity of *S. fredii* strains to antibiotics was carried out using the disc diffusion method. The content of vitamins B_9 and B_{12} in the bacterial mass of rhizobia was determined by the chemiluminescent immune method with the use of paramagnetic particles, and by applying immunochemical Access systems, on the chemiluminescence analyzer Access2.

Results. It was found that the studied strains *S. fredii* have good or abundant growth of bacterial mass on nutrient media MRS, MDA, RM and TY. They are catalase-positive, have high and medium resistance to antibiotics. The highest concentration of vitamin B_9 in biomass was synthesized by strains SB-39 (75.0 pg/ml), BB-49 (66.6 pg/ml) and TB-488 (48.9 pg/ml), and vitamin B_{12} — by strains BB-49 and SB-39 (1500 pg/ml).

Key words: rhizobia, vitamin B_9 , vitamin B_{12} , cultural properties, nutrient media, antibiotics, catalase

For citation: M.V. Yakimenko, I.Yu. Tatarenko, A.I. Sorokina. Cultural and physiological characteristics of *Sinorhizobium fredii* strains (selected by the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean and their ability to produce vitamins B_9 and B_{12}). *Agrarian science*. 2024; 384(7): 166–169 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-166-169>

© M.V. Yakimenko, I.Yu. Tatarenko, A.I. Sorokina

Введение/Introduction

Микроорганизмы вносят фундаментальный вклад в рост и развитие растений, влияя на них с помощью множества физиологических, молекулярных и биохимических путей [1–3].

Витамины — один из факторов, который участвует во взаимодействиях между растениями и ризосферными микроорганизмами [4–6], так как витамины являются необходимыми кофакторами в различных метаболических путях [7, 8], вызывают устойчивость к патогенам, стимулируют рост растений, участвуют в преобразовании энергии в растении и служат антиоксидантами [9, 10].

Некоторые виды растений, в частности соя, горох, фасоль, люцерна и др., не могут вырабатывать определенную часть витаминов, которые необходимы им для своего метаболизма, но с помощью своих молекулярных механизмов используют витамины, синтезированные почвенными микроорганизмами, в том числе ризобиями [11–13].

Испанский ученый J.J. Ravillas с соавт. предположил, что синтез витаминов группы В почвенными микроорганизмами и их экзогенное влияние на клеточные функции растений являются одним из положительных факторов воздействия этих бактерий на растение [14, 15]. Наиболее известный фактор — это выработка кобаламина (витамина B_{12}) ризобиями и их связь с ростом бобовых [16, 17].

Кобаламин участвует в процессе азотфиксации, необходим для выработки хлорофилла, обеспечивает нормальное усваивание веществ и метаболизм, ускоряет рост, насыщает клетки кислородом, приходит на помощь в длительные дождливые или пасмурные периоды, когда растения страдают от недостатка солнечного света [18, 19].

Витамин B_9 (фолиевая кислота) играет важную роль в метаболических процессах растений. Участвует в синтезе нуклеиновых кислот и аминокислот, а также в процессах деления и роста клеток, играет решающую роль в процессе фотосинтеза, стимулирует рост растений, повышает их устойчивость к стрессу и болезням. Кроме того, фолиевая кислота способствует развитию крепкой и здоровой растительной ткани, улучшает качество урожая [20, 21].

Многими исследователями установлено, что штаммы одного и того же вида микроорганизма могут различаться по количеству выработки витаминов [22–24].

Цель исследований — изучить культурально-физиологические свойства чистых культур штаммов *Sinorhizobium fredii* и их способность синтезировать витамины B_{12} и B_9 .

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Микробиологические исследования проводили в лаборатории биологических исследований Всероссийского научно-исследовательского института сои в 2020–2023 гг. в соответствии с рекомендациями С.А. Бегуна (2005 г.)¹ с использованием классификатора бактерий

Берджи². Объектом исследования были штаммы ризобий вида *S. fredii* (ББ-49, СБ-39, СБ-43, ТБ-422, ТБ-488, ТБ-490, ТБ-496, ЗБ-79, 062), взятые из коллекции чистых культур ризобий ФНЦ ВНИИ сои³. В качестве стандарта использовали типовой штамм 5851 *S. fredii* из коллекции микроорганизмов и клеточных культур Института Лейбница (DSMZ, Германия). Изучение различных свойств этих бактерий проводили на питательной среде МДА (маннито-дрожжевой агар) следующего состава, г/л: K_2HPO_4 — 0,5; $MgSO_4$ — 0,2; $CaCO_3$ — 0,1; NaCl — 0,1; маннит — 10,0; агар-агар — 20,0; дрожжевой экстракт — 2,0; на минерально-растительной среде (МРС) с соевой мукой следующего состава, г/л: K_2HPO_4 — 0,5; KH_2PO_4 — 0,5; $MgSO_4$ — 0,1; $CaSO_4$ — 0,1; NaCl — 0,2; соль молибдена — следы; маннит — 20,0; соевая мука — 10,0; агар-агар — 20,0; на производственных микробиологических средах Rhizobium Medium (RM) следующего состава, г/л: маннитол — 10,0; K_2HPO_4 — 0,50; $MgSO_4$ — 0,20; NaCl — 0,10; агар — 20,0; дрожжевой экстракт 1,0 и Tryptone Glucose Yeast Extract Agar (TY) (HIMEDIA, Индия).

Для контроля чистоты бактериальной культуры использовали мясопептонный агар (МПА) следующего состава, г/л: агар сухой питательный — 20,0; агар-агар — 10,0. Каждый штамм оценивали визуально по показателям интенсивности роста, окраске и консистенции штриха. Интенсивность роста штриха ризобий определяли по 4-балльной шкале: 0 — нет роста; 1 — слабый; 2 — умеренный; 3 — хороший; 4 — обильный⁴.

Для определения каталазной активности в пробирке с культурой ризобий, выросшей на среде МРС, вносили 1 мл 3%-ной перекиси водорода и смотрели за образованием пузырьков. По интенсивности образования пузырьков кислорода в пробирках с чистой культурой ризобий оценивали каталазную активность штамма — высокая (+++), средняя (++) , умеренная (+) и ее отсутствие (–)⁴.

Определение чувствительности штаммов *S. fredii* к антибиотикам проводили диско-диффузным методом⁵, содержание в бактериальной массе ризобий витаминов B_{12} и B_9 — хемилюминесцентным иммунным методом с использованием парамагнитных частиц, с использованием иммунохимических систем Access (США) на хемилюминесцентном анализаторе Access2 фирмы Beckman Coulter (США) в клинико-диагностической лаборатории Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания (ДНЦ ФПД).

Статистическую обработку проводили с помощью программы BioStat, версия 7.6.5 (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В серии лабораторных опытов в 2023 году изучали способность чистых культур *S. fredii* синтезировать витамины группы В, в частности B_9 , B_{12} . Для исследования были взяты штаммы ББ-49, СБ-39, СБ-43, ТБ-422, ТБ-488, ТБ-490, ТБ-496, ЗБ-79, 062, показавшие обильный рост бактериальной массы на различных питательных средах.

В качестве стандарта использовали типовой штамм 5851 *S. fredii* из коллекции микроорганизмов и клеточных

¹ Бегун С.А. Способы, приемы изучения и отбора эффективных штаммов клубеньковых бактерий сои. Методы аналитической селекции: метод рекомендации. Благовещенск: ПКИ «Зоя». 2005; 70.

² Identification of bacteria Bergii: V 2-Kh t. [Text]: Transl. from Engl / M.: The world. 1997; 2: 368.

³ Коллекция чистых культур ризобий ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои входит в состав структурного подразделения (лаборатории биологических исследований) и специализируется на поддержании непатогенных клубеньковых бактерий сои — симбионтов сои. Официальный акроним коллекции ARSRIS_MIC, регистрационный номер в информационной системе «Парус» 820.00.У5615.

⁴ МР 2.3.2.2327-08 Методические рекомендации по организации производственного микробиологического контроля на предприятиях молочной промышленности (с атласом значимых микроорганизмов) МР (Методические рекомендации) от 07.02.2008 № 2.3.2.2327-08.

⁵ Клинические рекомендации. Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам. Версия-2015-02.

культур Института Лейбница (DSMZ, Германия). Все изучаемые штаммы росли на МПА, имели обильный или хороший рост на различных питательных средах и были каталазоположительными, за исключением штаммов ТБ-422 и ТБ-496 (табл. 1). Все штаммы не сильно различались между собой окраской и консистенцией штриха и в основном имели прозрачно-белый или прозрачно-кремовый цвет штриха маслообразной, сметанообразной или сливкообразной консистенции.

Проведенная оценка чувствительности штаммов к антибиотикам показала, что штаммы 062, СБ-39 и СБ-43 имели высокую степень антибиотикорезистентности. Штамм 062 был устойчив к 6 антибиотикам, а штаммы СБ-39 и СБ-43 — к 5 (табл. 2). Остальные изучаемые штаммы имели среднюю степень чувствительности к антимикробным препаратам.

Все изучаемые штаммы, включая типовой, продуцировали витамины B_9 , B_{12} . Концентрация витамина B_9 в бактериальной массе типового штамма *S. fredii* 5851 составила 7,9 пг/мл (рис. 1).

По количеству производимого витамина B_9 аборигенные штаммы превзошли типовой. И если концентрация витамина B_9 в биомассе штамма ТБ-496 была на 2 пг/мл выше, чем у типового, то в биомассе остальных изучаемых штаммов этот показатель превысил типовой в 4 (ЗБ-79) — 9,6 (СБ-39) раза. Так, концентрация витамина B_9 в биомассе штамма ББ-49 составляла 66,6 пг/мл, что выше концентрации этого витамина у типового штамма в 8,4 раза. В биомассе штамма ТБ-490 количество

Таблица 2. Чувствительность штаммов ризобий сои *S. Fredii* к антибиотикам, 2023 г.

Table 2. Sensitivity of soybean rhizobia strains *S. fredii* to antibiotics, 2023

Штамм	Антибиотические препараты					
	Налидиксовая кислота	карбенциллин	стрептомицин	эритромицин	рифампицин	тетрациклин
5851 типовой	R	R	S	R	I	HS
СБ-39	R	R	R	R	R	S
СБ-43	R	R	R	R	R	S
ТБ-422	S	S	R	S	R	S
ББ-49	R	I	R	S	R	S
ТБ-488	I	I	R	R	R	I
ТБ-490	R	R	I	S	R	R
ТБ-496	R	I	R	R	I	S
062	R	R	R	R	R	R
ЗБ-79	S	R	I	I	R	I

Примечание: R — резистентные, I — умеренно резистентные, S — чувствительные, HS — высокочувствительные.

Таблица 1. Отдельные физиолого-биохимические свойства штаммов ризобий сои *S. fredii*, 2020–2023 гг.

Table 1. Selected physiological and biochemical properties of soybean rhizobia strains *S. fredii*, 2020–2023

Штамм	Происхождение, культура, сроки выделения	Активность каталазы	Показатели роста штамма на 7-е сутки после посева на питательную среду				Рост на МПА	Культуральная характеристика штаммов, 180-е сутки после посева на МДА	
			МДА	МРС	RM	TY		Окраска штриха	Консистенция штриха
5851 типовой	Германия, Институт Лейбница, DSMZ, 2020 г.	+	4	3	4	2	+	прозрачно-белая	маслообразная
СБ-39	Амурская обл., Свободненский р-н, с. Буссе, сорт Октябрь 70, 1991 г.	+++	4	4	4	3	+	топленое молоко	маслообразная
СБ-43	Амурская обл., Свободненский р-н, с. Буссе, сорт Октябрь 70, 1991 г.	++	4	4	3	3	+	Прозрачно-бесцветная	вязкая
ББ-49	Амурская обл., Благовещенск, дикая соя, 1992 г.	+++	4	4	4	3	+	прозрачно-кремовая	сметанообразная
ТБ-422	Амурская обл., Тамбовский р-н, с. Садовое, соя Гибрид 260, 1994 г.	-	4	4	4	3	+	молочно-белая	маслообразная
ТБ-488	Амурская обл., Тамбовский р-н, с. Садовое, сорт Октябрь 70, 1998 г.	++	4	4	4	4	+	прозрачно-кремовая	маслообразная
ТБ-490	Амурская обл., Тамбовский р-н, с. Садовое, сорт Октябрь 70, 1998 г.	+++	4	4	4	3	+	молочно-белая	сливкообразная
ТБ-496	Амурская обл., Тамбовский р-н, с. Садовое, сорт Октябрь 70, 1998 г.	-	4	4	4	3	+	молочно-белая	сливкообразная
062	Китай, г. Удалянци, культурная соя, 2005 г.	+	4	4	3	3	+	прозрачно-кремовая	сметанообразная
ЗБ-79	Амурская обл., г. Зяя, дикая соя, 2007 г.	+	4	4	3	3	+	прозрачно-кремовая	маслообразная

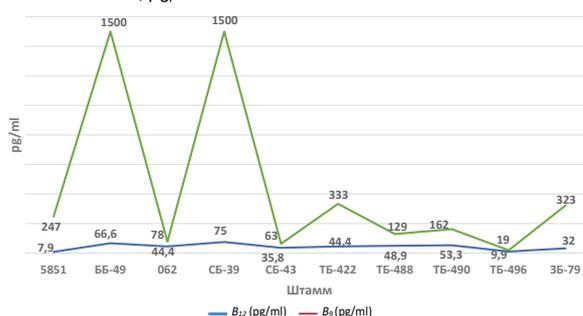
Примечание: активность каталазы: +++ — высокая, ++ — средняя, + — умеренная, - — отсутствует; рост штриха (баллы): 4 — обильный, 3 — хороший, 2 — умеренный, 1 — слабый, 0 — нет роста.

вырабатываемого витамина B_9 по сравнению с типовым было выше в 6,8 раза (53,3 пг/мл), в биомассе штамма ТБ-488 — в 6,2 раза (48,9 пг/мл), в биомассе штамма ТБ-422 и ТБ-062 — в 5,6 раза (44,4 пг/мл).

Показатели концентрации витамина B_{12} в бактериальной массе изучаемых штаммов варьировали в более широких пределах. Минимальная концентрация витамина B_{12} (19 пг/мл) отмечена у штамма ТБ-496. У типового штамма *S. fredii* 5851 количество вырабатываемого витамина составило 247 пг/мл. У штаммов ТБ-422 и ЗБ-79 синтез витамина B_{12} был выше в среднем в 1,4 раза, чем у типового (333 пг/мл и 323 пг/мл

Рис. 1. Концентрация витаминов B_9 и B_{12} в биомассе изучаемых штаммов *S. fredii*, пг/мл

Fig. 1. Concentration of vitamins B_9 and B_{12} in the biomass of the studied *S. fredii* strains, pg/ml



соответственно). Наибольшую концентрацию B_{12} в биомассе (1500 пг/мл) показали штаммы ББ-49, СБ-39.

Выводы/Conclusions

В результате исследований установлено, что изучаемые штаммы *S. fredii* представляют собой однородную группу микроорганизмов, имеют хороший или обильный рост бактериальной массы на питательных средах

МРС, МДА, РМ и ТУ, высокую и среднюю устойчивость к антибактериальным препаратам и являются каталазо-положительными.

Все исследуемые штаммы *S. fredii*, включая типовой, синтезируют витамины B_9 и B_{12} . Наибольшая концентрация витамина B_9 отмечена в биомассе штаммов СБ-39 (75,0 пг/мл), ББ-49 (66,6 пг/мл), ТБ-488 (48,9 пг/мл), витамина B_{12} — штаммов ББ-49, СБ-39 (по 1500 пг/мл).

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Singh D., Ghosh P., Kumar J., Kumar A. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPRs): Functions and Benefits. Singh D., Gupta V., Prabha R. (eds.). *Microbial Interventions in Agriculture and Environment*. Singapore: Springer. 2019; 2: 205–227. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8383-0_7
- Palacios O.A., Bashan Y., de-Bashan L.E. Proven and potential involvement of vitamins in interactions of plants with plant growth-promoting bacteria — an overview. *Biology and Fertility of Soils*. 2013; 50(1): 140–158. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0894-3>
- Cronan J.E., Littell K.J., Jackowski S. Genetic and biochemical analyses of pantothenate biosynthesis in *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium*. *Journal of Bacteriology*. 1982; 149(3): 916–922. <https://doi.org/10.1128/jb.149.3.916-922.1982>
- Balabanova L., Averianova L., Marchenok M., Son O., Tekutyeva L. Microbial and Genetic Resources for Cobalamin (Vitamin B_{12}) Biosynthesis: From Ecosystems to Industrial Biotechnology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(9): 4522. <https://doi.org/10.3390/ijms22094522>
- Bernhardt C., Zhu X., Schütz D., Fischer M., Bisping B. Cobalamin is produced by *Acetobacter pasteurianus* DSM 35099. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019; 103(9): 3875–3885. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09704-3>
- Acevedo-Rocha C.G., Gronenberg L.S., Mack M., Commichau F.M., Genee H.J. Microbial cell factories for the sustainable manufacturing of B vitamins. *Current Opinion in Biotechnology*. 2019; 56: 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.07.006>
- Zhang Y., Li X., Wang Z., Wang Y., Ma Y., Su Z. Metabolic Flux Analysis of Simultaneous Production of Vitamin B_{12} and Propionic Acid in a Coupled Fermentation Process by *Propionibacterium freudenreichii*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2021; 193(10): 3045–3061. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03584-y>
- Oh S., Cave G., Lu C. Vitamin B_{12} (Cobalamin) and Micronutrient Fortification in Food Crops Using Nanoparticle Technology. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 668819. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.668819>
- de-Bashan L.E., Bashan Y. Joint Immobilization of Plant Growth-Promoting Bacteria and Green Microalgae in Alginate Beads as an Experimental Model for Studying Plant-Bacterium Interactions. *Applied and Environmental Microbiology*. 2008; 74(21): 6797–6802. <https://doi.org/10.1128/AEM.00518-08>
- de-Bashan L.E., Antoun H., Bashan Y. Cultivation factors and population size control uptake of nitrogen by the microalgae *Chlorella vulgaris* when interacting with the microalgae growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *FEMS Microbiology Ecology*. 2005; 54(2): 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2005.03.014>
- Marek-Kozaczuk M., Skorupska A. Production of B-group vitamins by plant growth-promoting *Pseudomonas fluorescens* strain 267 and the importance of vitamins in the colonization and nodulation of red clover. *Biology and Fertility of Soils*. 2001; 33(2): 146–151. <https://doi.org/10.1007/s003740000304>
- Matamoros M.A. et al. Biosynthesis of Ascorbic Acid in Legume Root Nodules. *Plant Physiology*. 2006; 141(3): 1068–1077. <https://doi.org/10.1104/pp.106.081463>
- Kang B.G., Kim W.T., Yun H.S., Chang S.C. Use of plant growth-promoting rhizobacteria to control stress responses of plant roots. *Plant Biotechnology Reports*. 2010; 4(3): 179–183. <https://doi.org/10.1007/s11816-010-0136-1>
- Tazoe M., Ichikawa K., Hoshino T. Purification and Characterization of Pyridoxine 5'-Phosphate Phosphatase from *Sinorhizobium meliloti*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2005; 69(12): 2277–2284. <https://doi.org/10.1271/bbb.69.2277>
- Revillas J.J., Rodelas B., Pozo C., Martínez-Toledo M.V., González-López J. Production of B-group vitamins by two *Azotobacter* strains with phenolic compounds as sole carbon source under diazotrophic and adiazotrophic conditions. *Journal of Applied Microbiology*. 2000; 89(3): 486–493. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.01139.x>
- Martínez-Viveros O., Jorquera M.A., Crowley D.E., Gajardo G., Mora M.L. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *Journal of soil science and plant nutrition*. 2010; 10(3): 293–319. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162010000100006>
- Nakei M.D., Venkataramana P.B., Nkaidemi P.A. Soybean-Nodulating Rhizobia: Ecology, Characterization, Diversity, and Growth Promoting Functions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022; 6: 824444. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.824444>
- Jaiswal S.K., Mohammed M., Iby FY.I., Dakora F.D. Rhizobia as a Source of Plant Growth-Promoting Molecules: Potential Applications and Possible Operational Mechanisms. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021; 4: 619676. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.619676>
- Moore S.J., Warren M.J. The anaerobic biosynthesis of vitamin B_{12} . *Biochemical Society Transactions*. 2012; 40(3): 581–586. <https://doi.org/10.1042/BST20120066>
- Mastella L. et al. First report on Vitamin B_9 production including quantitative analysis of its vitamins in the yeast *Scheffersomyces stipitis*. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2022; 15: 98. <https://doi.org/10.1186/s13068-022-02194-y>
- Yadav A.N. et al. Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021; 33: 102009. <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2021.102009>
- Babalola O.O. Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology Letters*. 2010; 32(11): 1559–1570. <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0347-0>
- Cesco S. et al. Plant-borne flavonoids released into the rhizosphere: impact on soil bio-activities related to plant nutrition. A review. *Biology and Fertility of Soils*. 2012; 48(2): 123–149. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0653-2>
- Mukherjee T., Hanes J., Tews I., Ealick S.E., Begley T.P. Pyridoxal phosphate: Biosynthesis and catabolism. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics*. 2011; 1814(11): 1585–1596. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2011.06.018>

ОБ АВТОРАХ

Мария Владимировна Якименко

ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией биологических исследований, кандидат биологических наук
yamv@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1141-1900>

Игорь Юрьевич Татаренко,

старший научный сотрудник лаборатории биологических исследований, кандидат сельскохозяйственных наук
tigy@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0098-3484>

Арина Игоревна Сорокина

ведущий научный сотрудник лаборатории биологических исследований, кандидат ветеринарных наук
aziradot@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4611-767x>

Всероссийский научно-исследовательский институт сои (ФБГНУ ФНЦ ВНИИ сои),
Игнатьевское шоссе, 19, Благовещенск, Амурская обл., 675000, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Maria Vladimirovna Yakimenko

Leading researcher, Head of the Laboratory of Biological Research, Candidate of Biological Sciences
yamv@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1141-1900>

Igor Yurievich Tatarenko

Senior Researcher at the Laboratory of Biological Research, Candidate of Agricultural Sciences
tigy@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0098-3484>

Arina Igorevna Sorokina

Leading Researcher at the Laboratory of Biological Research, Candidate of Veterinary Sciences
aziradot@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4611-767x>

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean (FSBSI FRC ARSRI of Soybean),
19 Ignatievskoe highway, Blagoveshchensk, Amur region, 675000, Russia