

Оценка влияния штаммов *Bradyrhizobium elkanii* на семена различных сельскохозяйственных культур

Якименко М.В., (✉) Татаренко И.Ю., Гутор Я.С., Сорокина А.И., Чепелева А.В.

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои»

Благовещенск, Россия

(✉) e-mail: tigy@vniisoi.ru

В статье представлены результаты оценки влияния штаммов *Bradyrhizobium elkanii* (Kuykendall et al., 1992) из коллекции Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» на семена сои, пшеницы, ячменя, люпина и вигны. Основной целью работы было выявление наиболее перспективных чистых культур ризобий для их дальнейшего применения при производстве биопрепаратов. В процессе исследования использованы штаммы Ву-4, Ву-5, Ву-6, Ву-9, Ву-10, Ву-11, Ву-25, Вр-1, ФЗ-28, выделенные из корневых клубеньков *Vigna unguiculata*, *V. radiate* и *V. angularis*, выращенных на луговой черноземовидной почве (Амурская область, Тамбовский муниципальный округ, с. Садовое). Также использован штамм Мд-0, выделенный из корневых клубеньков *V. unguiculata*, выращенной на дерново-луговой аллювиальной почве, полученной из Магаданской области. В ходе экспериментов установлено, что большинство изучаемых штаммов ризобий способствуют значительному улучшению прорастания семян и снижению уровня эпифитной микрофлоры. Энергия прорастания бактеризованных семян сои в среднем возросла на 15%, длина проростков – на 120% по сравнению с контролем. Похожие результаты получены для пшеницы (32 и 70% соответственно) и люпина (20 и 112%). Штаммы Мд-0 и Ву-25 способствовали увеличению темпов прорастания семян ячменя в 4 и 5 раз соответственно относительно контроля. При посеве семян по «газону» чистых культур *B. elkanii* микрофлора, находящаяся на семенах, либо не прорастала, либо проявлялась в виде единичных колоний. Тогда как в контрольных чашках Петри (без инокуляции) на 7-е сутки роста наблюдали высокую инфицированность нестерильных семян эпифитной микрофлорой. Полученные результаты подтверждают перспективность использования ризобий в агрономии для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения фитосанитарного состояния посевов.

Ключевые слова: *Bradyrhizobium elkanii*, штамм, сельскохозяйственные культуры, стимуляция прорастания семян, энергия прорастания, всхожесть, длина проростков, сырая масса проростков

Assessment of the effect of *Bradyrhizobium elkanii* strains on the seeds of various crops

Yakimenko M.V., (✉) Tatarenko I.Yu., Gutor Ya.S., Sorokina A.I., Chepeleva A.V.

Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean"

Blagoveshchensk, Russia

(✉) e-mail: tigy@vniisoi.ru

The article presents the results of the studies aimed at assessing the effect of *Bradyrhizobium elkanii* (Kuykendall et al., 1992) strains from the collection of the Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean" on the seeds of soybeans, wheat, barley, lupine and vigna. The main purpose of the work was to identify the most promising pure cultures of rhizobia for their further use in the production of biopreparations. The study used strains Vu-4, Vu-5, Vu-6, Vu-9, Vu-10, Vu-11, Vu-25, Vr-1, FZ-28, isolated from root nodules of *Vigna unguiculata*, *V. radiate* and *V. angularis* grown on the meadow chernozem-like soil (Amur region, Tambov municipal district, Sadovoe village). During the experiments, it was found that the studied rhizobium strains significantly contribute to improving seed germination and reducing the level of epiphytic microflora. The germination energy of bacterized soybean seeds increased by an average of 15%, and the length of the seedlings increased by 120% compared with the control. Similar results were obtained for wheat

(32 and 70%, respectively) and lupine (20 and 112%). Strains Md-0 and Vu-25 contributed to an increase in the rate of germination of barley seeds by 4 and 5 times, respectively, relative to the control. When sowing the seeds on a "lawn" of pure cultures of *B. elkanii*, the microflora on the seeds either did not germinate or appeared as single colonies. Whereas in control Petri dishes (without inoculation) on the 7th day of growth, high infection of non-sterile seeds with epiphytic microflora was observed. The obtained results confirm the potential of using rhizobia in agronomy to increase the productivity of agricultural crops and improve the phytosanitary condition of crops.

Keywords: *Bradyrhizobium elkanii*, strain, agricultural crops, seed germination stimulation, germination energy, germination, length of seedlings, wet weight of seedlings

Для цитирования: Якименко М.В., Татаренко И.Ю., Гутор Я.С., Сорокина А.И., Чепелева А.В. Оценка влияния штаммов *Bradyrhizobium elkanii* на семена различных сельскохозяйственных культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 11. С. 30–38. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-11-3>

For citation: Yakimenko M.V., Tatarenko I.Yu., Gutor Ya.S., Sorokina A.I., Chepeleva A.V. Assessment of the effect of *Bradyrhizobium elkanii* strains on the seeds of various crops. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2025, vol. 55, no. 11, pp. 30–38. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-11-3>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир сталкивается с растущим спросом на продовольствие, что требует от исследователей разработки инновационных подходов для обеспечения устойчивого производства продуктов питания. Сельское хозяйство в настоящее время испытывает значительные риски потерь урожая из-за ряда глобальных вызовов, включая деградацию почв, изменение климата, а также увеличение частоты и интенсивности атак патогенов и вредителей [1–3]. В этих условиях особую актуальность приобретают методы, направленные на повышение урожайности сельскохозяйственных культур при одновременном снижении негативного воздействия химикатов на окружающую среду. К таким методам можно отнести использование биодобров, биопестицидов и внедрение практик возврата растительных остатков в почву, что способствует улучшению ее структуры и поддержанию биоразнообразия экосистем¹ [4, 5].

Особый интерес в этом контексте представляют почвенные микроорганизмы, игра-

ющие ключевую роль в поддержании плодородия земель и стимуляции роста растений. Способность почвенных микроорганизмов улучшать питание растений, повышать их устойчивость к стрессам и патогенам делает их важным объектом исследований, посвященных разработке экологически безопасных агротехнологий² [6, 7].

Одним из наиболее перспективных направлений является изучение ризобий, способных вступать в симбиоз с бобовыми культурами [8]. Ризобии не только обеспечивают растения доступным азотом благодаря процессу азотфиксации, но и способствуют солюбилизации фосфатов, синтезу фитогормонов и витаминов, повышают устойчивость растений к патогенам за счет индукции системной резистентности [9–11].

Однако для максимальной эффективности ризобияльных препаратов необходимо учитывать региональные особенности почвенных микробных сообществ [12]. Дальневосточный регион России представляет собой уникальную экосистему, где в почвах есте-

¹Честнова Ю.В. Разработка новой препаративной формы биодобров на основе ризосферных бактерий // Прикладные биотехнологии для развития сельского хозяйства и промышленности: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (Саратов, 20 окт. 2023 г.). Саратов, 2024. С. 88–92.

²Кротикова Ю.С., Никашова Л.П. Роль почвенных микроорганизмов в устойчивом сельском хозяйстве: результаты исследований // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых (Пенза, 27–28 марта 2025 г.). Пенза, 2025. С. 320–323.

ственным образом распространены популяции клубеньковых бактерий сои³ [13]. Их формирование связано с произрастанием на данной территории дикорастущей уссурийской сои, а также с активным возделыванием культурной сои⁴. Дальневосточные природные популяции ризобий – ценный ресурс для поиска новых конкурентоспособных штаммов, обладающих высокой активностью, что открывает широкие перспективы для создания эффективных инокулянтов.

Таким образом, изучение ризобий и их взаимодействия с бобовыми культурами является важным шагом в развитии устойчивого сельского хозяйства, способного отвечать на негативные вызовы современности.

Цель исследования – оценка влияния чистых культур *Bradyrhizobium elkanii* на семена сои, пшеницы, ячменя, люпина и вигны, что поможет в дальнейшем выделить наиболее перспективные штаммы для разработки биопрепаратов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2024 г. в лаборатории биологических исследований Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт сои». Объектами исследования являлись коллекционные чистые культуры *B. elkanii*, выделенные из дальневосточных природных популяций [14], а также семена сои (*Glycine max* (L.) Merr.), пшеницы (*Triticum* L.), ячменя (*Hordeum* L.), люпина (*Lupinus* L.), вигны (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H. Ohashi).

Лабораторные микробиологические эксперименты выполняли четырехкратно в соответствии с общепринятыми методами⁵. Использовали минерально-растительную питательную среду (МРС). Все микробиологические работы проводили в боксе. Для стерилизации поверхностей и горения спиртовки применяли 96%-й этиловый спирт. Изучение

возможности стимулирования прорастания и обеззараживания семян сои и других зернобобовых культур с помощью чистых культур ризобий сои проводили по методикам, предложенным Всероссийским научно-исследовательским институтом сельскохозяйственной микробиологии, в модификации С.А. Бегуна⁶. Повторность изучаемых вариантов четырехкратная. Учет длины проростков, всхожести, энергии прорастания семян осуществляли в соответствии с ГОСТ 12038–84⁷. Содержание в бактериальной массе ризобий витаминов группы В определяли хемилюминесцентным иммунным методом с использованием парамагнитных частиц и автоматического иммунохимического анализатора Access2 (Beckman Coulter, США). Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с помощью программы Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе экспериментов изучали возможность стимулирования прорастания и обеззараживания семян сои, люпина, вигны, пшеницы и ячменя с помощью чистых культур ризобий сои. Применяли следующие штаммы *B. elkanii*: Ву-4, Ву-5, Ву-6, Ву-9, Ву-10, Ву-11, Ву-25, Вр-1, ФЗ-28, Мд-0. Первые девять штаммов выделены из корневых клубеньков разных видов вигны, произраставшей на территории Амурской области (Тамбовский муниципальный округ, с. Садовое): Ву-4, Ву-5, Ву-25 – *V. unguiculata* (L.) Walp., сорт к460; Ву-6, Ву-9, Ву-10, Ву-11 – *V. unguiculata* (L.) Walp., сорт к463; Вр-1 – *V. radiate* (L.) R. Wilczek, сорт к3096; ФЗ-28 – *V. angularis* (Willd.) Ohwi & H. Ohashi. Штамм Мд-0 выделен из корневых клубеньков *V. unguiculata* (L.) Walp. (сорт к460), выращенной на почве, полученной из Магаданской области (предшественник – чина, веге-

³Хэ И., Юй Ц. Влияние протравителей и инокулянтов на развитие болезней сои в условиях южной зоны Амурской области // Молодежный вестник дальневосточной аграрной науки: сб. студенческих науч. тр. / отв. ред. Е.Б. Захарова. Благовещенск, 2023. Вып. 8. С. 66–71.

⁴Система земледелия Амурской области / отв. ред. В.А. Тильба. Благовещенск, 2003. 304 с.

⁵Практикум по микробиологии: учеб. пособие для студентов вузов / под ред. А.И. Нетрусова. М.: ИЦ «Академия», 2005. 608 с.

⁶Бегун С.А. Способы, приемы изучения и отбора эффективных штаммов клубеньковых бактерий сои. Методы аналитической селекции: метод. рекомендации. Благовещенск, 2005. 70 с.

⁷ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ, 2011. 32 с.

тационный опыт, Магаданский НИИСХ). Год урожая семян всех культур – 2023.

Штаммы показали хороший и обильный рост бактериальной массы на МРС и способность продуцировать витамины группы В. Концентрация витамина В₉ в бактериальной массе штаммов в среднем составила 31,4 пг/мл с варьированием в широких пределах (8–51 пг/мл) (см. табл. 1). Наибольшие показатели содержания витамина В₉ в биомассе (более 40 пг/мл) продемонстрировали штаммы Ву-6, Ву-10, Вр-1, ФЗ-28. Количество витамина В₁₂ на несколько порядков превысило концентрацию витамина В₉ при более значительной изменчивости этого показателя ($C_v = 68,5\%$). Минимальное содержание витамина В₁₂ в биомассе (310 пг/мл) отмечено у штамма Ву-4, концентрация более 1000 пг/мл зафиксирована у штаммов Ву-9, Ву-10, Ву-25, Мд-0.

Табл. 1. Статистические значения концентрации витаминов В₉ и В₁₂, синтезируемых группой штаммов *B. elkanii*, пг/мл

Table 1. Statistical values of the concentration of vitamins В₉ and В₁₂ synthesized by a group of *B. elkanii* strains, pg/ml

Показатель	Витамин В ₉	Витамин В ₁₂
$\bar{X}$	31,4	871,5
lim	8–51	310–2008
σ	14,8	566,6
$C_v, \%$	47,2	68,5

Примечание. $\bar{X}$ – среднее арифметическое; lim – предел колебания; σ – стандартное отклонение; C_v – коэффициент вариации.

В вариантах со штаммами отмечали устойчивый стимулирующий и оздоравливающий эффект. Во всех контрольных чашках Петри (без инокуляции) на 7-е сутки роста наблюдали высокую инфицированность нестерильных семян сельскохозяйственных культур эпифитной микрофлорой (см. рис. 1).

При посеве семян по «газону» чистых культур *B. elkanii* микрофлора, находящаяся на семенах, не прорастала или проявлялась в виде единичных колоний (см. табл. 2).

Все исследуемые штаммы *B. elkanii* оказали стимулирующее влияние на процесс прорастания семян.

При размещении семян по «газону» чистых культур ризобий в первую очередь стимулируется их скорость прорастания. В среднем энергия прорастания бактеризованных семян сои увеличилась по сравнению с контролем на 15%, длина проростков – на 120%, пшеницы – на 32 и 70%, люпина – на 20 и 112% соответственно. Наблюдалась значительная вариабельность этих показателей (соответственно $C_v = 68,9$ и 82,2%).

Штаммы Мд-0 и Ву-25 позволили повысить энергию прорастания семян ячменя в 4 и 5 раз соответственно. Длина проростков в этих вариантах увеличилась в 0,5–0,6 раза по сравнению с контролем. Положительный эффект бактеризации семян вигны отмечен в вариантах со штаммами Ву-5, Ву-9, Ву-10, Ву-11, Ву-25, ФЗ-28, Мд-0 (см. табл. 3).

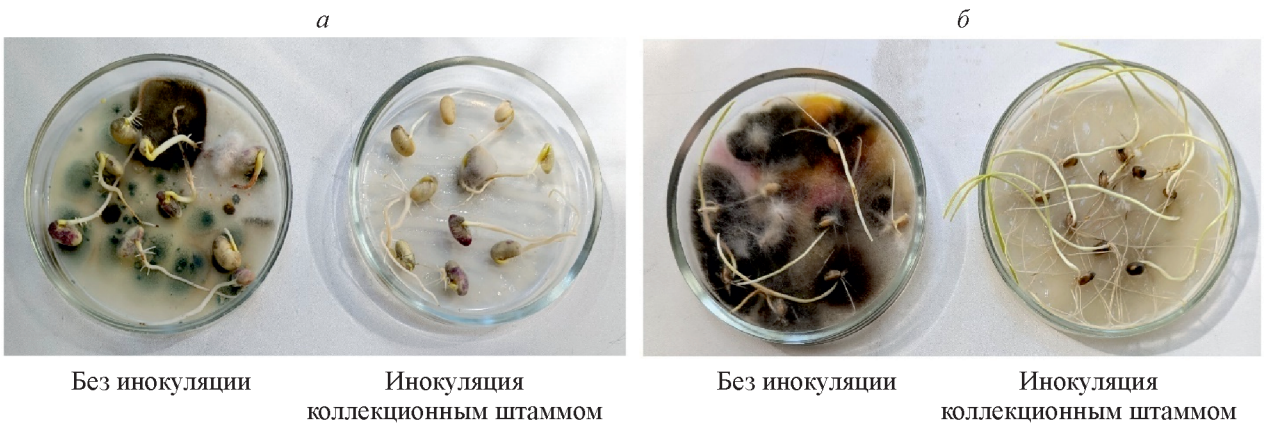


Рис. 1. Стимуляция прорастания семян сои сорта Алпетра (а) и пшеницы сорта Арюна (б)

Fig. 1. Stimulation of germination of soybean seeds of the Alpetra variety (a), and of wheat of the Aryuna variety (b)

Табл. 2. Исследуемые характеристики нестерильных семян при выращивании по «газону» чистых культур *B. elkanii* (7-е сутки)

Table 2. The studied characteristics of non-sterile seeds when grown on a "lawn" of pure cultures of *B. elkanii* (7th day)

Культура	Вариант	Всхожесть семян		Длина проростков		Сырая масса проростков		Наличие микрофлоры
		%	% к контролю	см	% к контролю	г/10 раст.	% к контролю	
Соя, сорт Алпетра	Контроль	100	100	3,30	100	4,19	100	+
	Ризобии	93	93	4,16	126	4,36	104	–
Пшеница, сорт Арюна	Контроль	100	100	5,60	100	1,35	100	+
	Ризобии	98	98	6,68	119	1,72	127	–
Ячмень, сорт Амур	Контроль	90	100	3,80	100	1,47	100	+
	Ризобии	100	111	5,22	137	1,80	123	–
Люпин, сорт к408	Контроль	90	100	2,80	100	4,82	100	+
	Ризобии	97	107	3,39	121	4,12	86	–
Вигна	Контроль	60	100	1,20	100	2,26	100	+
	Ризобии	61	102	1,78	148	2,48	110	–
C_v , %		68,9		82,2		17,3		
HCP ₀₅		1,80		1,03		0,88		

Примечание. Величина HCP₀₅ рассчитана отдельно для каждой культуры на основе дисперсионного анализа; значения указаны для ключевых сравнений (штамм и контроль).

Табл. 3. Статистические значения всхожести и длины проростков нестерильных семян при выращивании по «газону» чистых культур *B. elkanii* (3-е сутки)

Table 3. Statistical values of germination and length of seedlings of non-sterile seeds when grown on a "lawn" of pure cultures of *B. elkanii* (3rd day)

Показатель	Всхожесть семян, шт.	Длина проростков, см
$\bar{X}$	4,45	0,60
lim	0–10,0	0–2,3
σ	3,07	0,49
C_v , %	68,9	82,2

Примечание. Здесь и в табл. 4: значения рассчитаны на основе данных по всем культурам для иллюстрации общей тенденции; HCP₀₅ для каждой культуры см. в табл. 2.

Всхожесть семян изучаемых культур в контроле была высокой (100%). В вариантах с бактеризацией отмечена небольшая изменчивость этого показателя ($C_v = 17,5\%$). Всхожесть семян ячменя, люпина и вигны практически по всем вариантам опыта превыша-

ла контроль на 11–33%. Лучший показатель всхожести семян вигны зафиксирован в варианте со штаммом Мд-0. В данном варианте инокуляция семян привела к повышению показателя всхожести в 1,3 раза относительно контроля (см. табл. 4). В экспериментах с семенами сои сорта Алпетра и пшеницы сорта Арюна применение штаммов Ву-4, Ву-6, Ву-9, Ву-10, Вр-1 вызвало снижение всхожести на 10%. Возможно, это связано с видовой принадлежностью ризобий. В среднем всхожесть бактеризованных семян ячменя, люпина и вигны возросла на 14% по сравнению с контролем.

Используемые в ходе исследования штаммы ризобий заметно стимулировали увеличение длины проростков сельскохозяйственных культур при средней вариабельности этого показателя ($C_v = 56,8\%$). Так, инокуляция семян ячменя штаммом Ву-4 способствовала увеличению длины проростков на 5% по сравнению с контролем. Штаммы Ву-10, Ву-25, Вр-1, Мд-0 повысили этот показатель у всех изучаемых культур. Наибольшую

Табл. 4. Статистические значения всхожести, длины и сырой массы проростков нестерильных семян при выращивании по «газону» чистых культур *B. elkanii* (7-е сутки)

Table 4. Statistical values of germination, length and wet weight of seedlings of non-sterile seeds when grown on a "lawn" of pure cultures of *B. elkanii* (7th day)

Показатель	Всхожесть семян, шт.	Длина проростков, см	Сырая масса проростков, г/10 раст.
$\bar{X}$	9,0	4,2	2,9
lim	5,0–10,0	1,2–11,1	1,3–5,8
σ	1,60	2,40	1,24
C_v , %	17,5	56,8	43,2

длину проростков наблюдали в вариантах с инокуляцией штаммом Ву-25 семян сои (9,2 см), пшеницы (11,1 см), ячменя (9,2 см) и вигны (3,5 см). При бактеризации семян штаммом Ву-25 минимальное увеличение длины проростков отмечено у пшеницы (98%), максимальное – у вигны (192%). Наибольшая длина проростков люпина (4,9 см) зафиксирована в варианте с бактеризацией семян штаммом Мд-0. В целом в вариантах с использованием ризобий длина проростков сои, пшеницы, ячменя, люпина и вигны увеличилась в среднем на 50%.

При размещении нестерильных семян сельскохозяйственных культур по «газону» чистых культур *B. elkanii* нарастала сырая масса проростков (см. рис. 2). Лучшие пока-

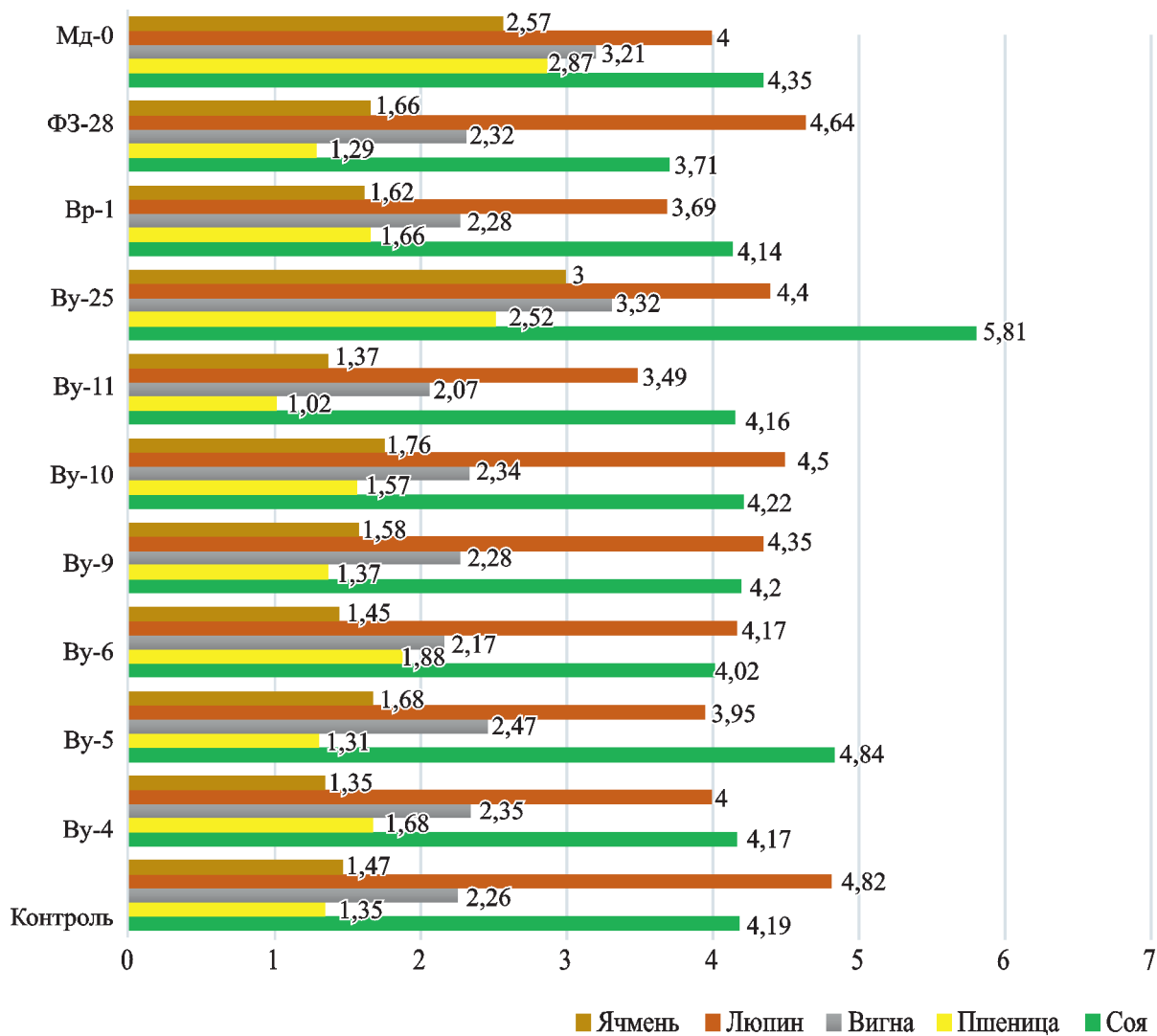


Рис. 2. Сырая масса проростков, г/10 раст.

Fig. 2. Wet weight of sprouts, g/10 plants

затели отмечены в вариантах с бактеризацией семян сои сорта Алпетра штаммами Ву-5 и Ву-25, пшеницы сорта Арюна штаммами Ву-4, Ву-6, Ву-25, Мд-0, ячменя сорта Амур штаммами Ву-10, Ву-25, Мд-0, вигны штаммами Ву-25 и Мд-0.

В перечисленных выше вариантах сырая масса проростков сои превышала контроль на 16–39%, пшеницы – на 24–113%, ячменя – на 20–104%, вигны – на 42–47%. На показатели сырой массы проростков люпина штаммы *B. elkanii* не повлияли, они остались на уровне контроля. В среднем в вариантах с бактеризацией семян сырая масса проростков сои, пшеницы, ячменя и вигны увеличилась на 29% по сравнению с контролем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено стимулирующее влияние ризобий на семена сельскохозяйственных культур. Наиболее высокие показатели энергии прорастания семян наблюдались в вариантах с бактеризацией следующими штаммами *B. elkanii*: Ву-5, Ву-10, Ву-11, Ву-25 для сои, Ву-5, Ву-25, Мд-0 для пшеницы, Ву-5, Ву-11, Ву-25, Ф3-28, Мд-0 для ячменя и люпина, Ву-25, Мд-0 для вигны. Высокие показатели всхожести семян вигны зафиксированы при использовании штаммов Ву-5, Ву-10, Ву-25 и Мд-0. Длина проростков сои и пшеницы была максимальной при использовании штаммов Ву-4, Ву-6, Ву-10, Ву-25, Мд-0, ячменя и люпина – Ву-10, Ву-25, Ф3-28, Мд-0, вигны – Ву-6, Ву-10, Ву-11, Ву-25, Вр-1, Мд-0. Максимальные показатели сырой массы проростков для вигны составили 3,32 г/10 раст. (штамм Ву-25), пшеницы – 2,87 (штамм Мд-0), сои – 5,81, ячменя – 3,0 г/10 раст. Полученные данные статистически достоверны. Перспективные штаммы рекомендуется использовать при производстве биопрепаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубилин А.И., Тюпаков К.Э., Адаменко А.А. Вызовы и современные ответы на проблемы устойчивого развития сельских территорий // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 100. С. 7–14.
2. Дубинкина Е.А., Шабалкин А.В., Макаров М.Р. Изучение обработки семян и растений сои инокулянтами и микробиологическими удобрениями в Центральном Черноземье // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 1 (45). С. 50–58.
3. Abd-Alla M.H., Al-Amri Salem M., El-Enany Abdel-Wahab E. Enhancing Rhizobium – Legume Symbiosis and Reducing Nitrogen Fertilizer Use Are Potential Options for Mitigating Climate Change // Agriculture. 2023. Vol. 13. P. 21–38.
4. Kebede E. Competency of Rhizobial Inoculation in Sustainable Agricultural Production and Biocontrol of Plant Diseases // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021. Vol. 5. P. 1–22.
5. Степанов А.Ф., Чибис С.П., Христич В.В., Александрова С.Н., Храмов С.Ю. Азотфиксирующая способность и роль бобовых трав в биологизации земледелия // Земледелие. 2023. № 1. С. 18–22.
6. Garcia M.V.C., Nogueira M.A., Hungria M. Combining microorganisms in inoculants is agronomically important but industrially challenging: case study of a composite inoculant containing Bradyrhizobium and Azospirillum for the soybean crop // AMB Express. 2021. Vol. 11. N 71. P. 10.
7. Fahde S., Boughribil S., Sijilmassi B., Amri A. Rhizobia: a Promising Source of Plant Growth-Promoting Molecules and Their Non-Legume Interactions: Examining Applications and Mechanisms // Agriculture. 2023. Vol. 13. P. 2–21.
8. Баймиев А.Х., Коряков И.С., Акимов Е.С., Владимирова А.А., Баймиев А.Х. Исследование влияния внешних факторов на рекомбинантную активность клубеньковых бактерий // Микробиология. 2024. Т. 93. № 4. С. 425–431. DOI: 10.31857/S0026365624040046.
9. López S.M.Y., Sánchez M.D.M., Pastorino G.N., Franco M., Toro Garcia N., Balatti P. Nodulation and Delayed Nodule Senescence: Strategies of Two Bradyrhizobium Japonicum Isolates with High Capacity to Fix Nitrogen // Current Microbiology. 2018. N 75. P. 997–1005.
10. Yang J., Lan L., Jin Y., Yu N., Wang D., Wang E. Mechanisms underlying legume-rhizobium symbioses // Journal of Integrative Plant Biology. 2022. N 64 (2). P. 244–267.
11. Онищук О.П., Курчак О.Н., Кимеклис А.К., Аксенова Т.С., Андронов Е.Е., Проворов Н.А. Биоразнообразие симбиозов, образуемых клубеньковыми бактериями *Rhizobium leguminosarum* с бобовыми растениями галегоид-

- ного комплекса // Сельскохозяйственная биология. 2023. № 58 (1). С. 87–99.
12. Павлов В.Ю. Оценка влияния почвенных условий на микробное сообщество для воспроизводства плодородия почв // Агрохимический вестник. 2024. № 4. С. 98–104. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-4-018.
 13. Голов В.И., Бурдуковский М.Л. Проблемы и успехи биологизации агроландшафтов в борьбе с деградацией почвенного покрова на Дальнем Востоке России // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: монография. М., 2018. Т. 4. С. 83–87. DOI: 10.25680/3988.2018.35.58.281.
 14. Якименко М.В., Бегун С.А. Видовое разнообразие дальневосточных природных популяций ризобий сои // Аграрный вестник Приморья. 2018. № 4 (12). С. 27–32.
- ## REFERENCES
1. Trublin A.I., Tyupakov K.E., Adamenko A.A. Challenges and modern responses to the problems of sustainable rural territories development. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2022, no. 100, pp. 7–14. (In Russian).
 2. Dubinkina E.A., Shabalkin AV., Makarov M.R. Study of the treatment of soybean seeds and plants with inoculants and microbiological fertilizers in the Central Chernozem region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and groat crops*, 2023, no. 1 (45), pp. 50–58. (In Russian).
 3. Abd-Alla M.H., Al-Amri Salem M., El-Enany Ab-del-Wahab E. Enhancing Rhizobium – Legume Symbiosis and Reducing Nitrogen Fertilizer Use Are Potential Options for Mitigating Climate Change. *Agriculture*, 2023, vol. 13, pp. 21–38.
 4. Kebede E. Competency of Rhizobial Inoculation in Sustainable Agricultural Production and Biocontrol of Plant Diseases. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021, vol. 5, pp. 1–22.
 5. Stepanov A.F., Chibis S.P., Khristich V.V., Alexandrova S.N., Khramov S.Yu. Nitrogen-fixing ability and the role of legumes in the biologization of agriculture. *Zemledelie = Zemledelie*, 2023, no. 1, pp. 18–22. (In Russian).
 6. Garcia M.V.C., Nogueira M.A., Hungria M. Combining microorganisms in inoculants is agronomically important but industrially challenging: case study of a composite inoculant containing *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* for the soybean crop. *AMB Express*, 2021, vol. 11, no. 71, p. 10.
 7. Fahde S., Boughribil S., Sijilmassi B., Amri A. Rhizobia: a Promising Source of Plant Growth-Promoting Molecules and Their Non-Legume Interactions: Examining Applications and Mechanisms. *Agriculture*, 2023, vol. 13, pp. 2–21.
 8. Baymiev A.H., Koryakov I.S., Akimova E.S. Vladimirova A.A., Baymiev A.Kh. Effect of environmental factors on recombinant ability of root nodule bacteria. *Mikrobiologiya = Microbiology*, 2024, vol. 93, no. 4, pp. 425–431. (In Russian). DOI: 10.31857/S0026365624040046.
 9. López S.M.Y., Sánchez M.D.M., Pastorino G.N., Franco M., Toro Garcia N., Balatti P. Nodulation and Delayed Nodule Senescence: Strategies of Two *Bradyrhizobium japonicum* Isolates with High Capacity to Fix Nitrogen. *Current Microbiology*, 2018, no. 75, pp. 997–1005.
 10. Yang J., Lan L., Jin Y., Yu N., Wang D., Wang E. Mechanisms underlying legume-rhizobium symbioses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2022, no. 64 (2), pp. 244–267.
 11. Onishchuk O.P., Kurchak O.N., Kimeklis A.K., Aksenova T.S., Andronov E.E., Provorov N.A. Biodiversity of the symbiotic systems formed by nodule bacteria *Rhizobium leguminosarum* with the leguminous plants of galegoid complex. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 2023, no. 58 (1), pp. 87–99. (In Russian).
 12. Pavlov V.Y. Assessment of soil conditions influence on the microbial community for reproduction of soil fertility. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Bulletin*, 2024, no. 4, pp. 98–104. (In Russian). DOI: 10.24412/1029-2551-2024-4-018.
 13. Golov V.I., Burdukovsky M.L. Problems and successes of biologization of agricultural landscapes in the fight against soil degradation in the Russian Far East. *New methods and results of landscape research in Europe, Central Asia and Siberia*. Moscow, 2018, vol. 4, pp. 83–87. (In Russian). DOI: 10.25680/3988.2018.35.58.281.
 14. Yakimenko M.V., Begun S.A. Species diversity of Far Eastern natural populations of soybean rhizobia. *Agrarniy vestnik Primor'ya = Agrarian Bulletin of Primorye*, 2018, no. 4 (12), pp. 27–32. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Якименко Мария Владимировна, ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук; SPIN-код 2394-4106

(✉) **Татаренко Игорь Юрьевич**, старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук; SPIN-код 1969-7711; **адрес для переписки:** Россия, 675000, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 19; e-mail: tigy@vniisoi.ru

Гутор Яна Сергеевна, младший научный сотрудник; SPIN-код 5664-7814

Сорокина Арина Игоревна, ведущий научный сотрудник, кандидат ветеринарных наук; SPIN-код 4105-4878

Чепелева Анфиса Владимировна, младший научный сотрудник; SPIN-код 4883-4836

AUTHOR INFORMATION

Maria V. Yakimenko, Lead Researcher, Candidate of Science in Biology; SPIN-code 2394-4106

(✉) **Igor Yu. Tatarenko**, Senior Researcher, Candidate of Science in Agriculture; SPIN-code 1969-7711; **address:** 19, Ignatievskoye Shosse, Blagoveshchensk, 675000, Russia; e-mail: tigy@vniisoi.ru

Yana S. Gutor, Junior Researcher; SPIN-code 5664-7814

Arina I. Sorokina, Lead Researcher, Candidate of Science in Veterinary Medicine; SPIN-code 4105-4878

Anfisa V. Chepeleva, Junior Researcher; SPIN-code 4883-4836

Дата поступления статьи / Received by the editors 06.08.2025
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 22.10.2025
Дата публикации / Published 08.12.2025