

Научная статья

УДК 633.853.52:631.847.211

EDN KTBNFS

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-58-67>

Влияние штаммов ризобий на продуктивность сои сорта Алпетра

Ольга Михайловна Рафальская¹, Сергей Васильевич Рафальский²,
Наталья Батрбековна Рафальская³

^{1, 2, 3} Всероссийский научно-исследовательский институт сои

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ rom@vniisoi.ru, ² rsv@vniisoi.ru, ³ rnb0676@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований влияния различных штаммов *Bradyrhizobium elkanii* на рост и развитие сои сорта Алпетра в условиях луговой черноземовидной почвы Амурской области. Установлено, что применение штаммов способствует значительному увеличению надземной массы растений, развитию корневой системы и образованию клубеньков. В ходе эксперимента оценивались густота стояния растений, их сохранность к уборке. Доказано, что применение некоторых штаммов *Bradyrhizobium elkanii* способствовало повышению сохранности растений к уборке, не оказывая при этом существенного влияния на сроки наступления фенологических фаз и продолжительность межфазных периодов. Выявлены наиболее эффективные штаммы, обеспечивающие максимальную продуктивность растений. Варианты с инокуляцией семян штаммами Ву-6, Ву-9, Ву-1 и Мд-0 показали наибольшую эффективность. Проведен корреляционный анализ взаимосвязи биоморфологических параметров. Полученные результаты подтверждают перспективность использования штаммов *Bradyrhizobium elkanii* для повышения урожайности сои.

Ключевые слова: соя, ризобии, инокуляция, сохранность, урожайность

Для цитирования: Рафальская О. М., Рафальский С. В., Рафальская Н. Б. Влияние штаммов ризобий на продуктивность сои сорта Алпетра // Дальневосточный аграрный вестник. 2025. Том 19. № 4. С. 58–67. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-58-67>.

Original article

Influence of rhizobia strains on Alpetra soybean variety productivity

Olga M. Rafalskaya¹, Sergey V. Rafalskiy², Natalya B. Rafalskaya³

^{1, 2, 3} All-Russian Scientific Research Institute of Soybean
Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation

¹ rom@vniisoi.ru, ² rsv@vniisoi.ru, ³ rnb0676@mail.ru

Abstract. The authors present the results of studies on the effect of various *Bradyrhizobium elkanii* strains on the growth and development of Alpera soybeans. The research was carried out in the conditions of the meadow chernozem soil of the Amur region. It is proved that the use of strains contributes to a significant increase in the aboveground mass of plants, the development of the root system and the formation of nodules. Studies have shown that the use of certain strains of *Bradyrhizobium elkanii* has improved the safety of plants for harvesting, without significantly affecting the timing of the onset of phenological phases and the duration of interphase periods. The variants involving inoculation with such strains as Vu-6, Vu-9, Vu-1, and Md-0 showed the highest efficiency. The authors also made a correlation analysis of the relationship between biomorphological parameters. The obtained results confirm prospects for using the *Bradyrhizobium elkanii* strains to increase soybean yields.

Keywords: soybean, rhizobia, inoculation, survival, yield

For citation: Rafalskaya O. M., Rafalskiy S. V., Rafalskaya N. B. Influence of rhizobia strains on Alpetra soybean variety productivity. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2025;19:4:58–67. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2025-19-4-58-67>.

Введение. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) является одной из зернобобовых культур, играющих ключевую роль в обеспечении человека белковой и масличной продукцией. Для повышения урожайности сои важным направлением является использование инокулянтов на основе эффективных штаммов клубеньковых бактерий рода *Bradyrhizobium*. Соответствующие микроорганизмы формируют симбиотическую связь с растениями, способствуя фиксации атмосферного азота и улучшению питания растений.

Современное сельское хозяйство остро нуждается в экологически безопасных и экономически эффективных методах повышения результивности растениеводства за счет увеличения урожайности возделываемых культур. При этом перспективным направлением является использование почвенных микроорганизмов, в частности на сое клубеньковых бактерий культуры (ризобий), способных не только усваивать атмосферный азот, но и стимулировать рост, развитие и продуктивность растений [1, 2].

Дальневосточный регион характеризуется уникальным биоразнообразием природных популяций соевых ризобий, что делает его важным источником для поиска новых высокоэффективных штаммов клубеньковых бактерий [3, 4]. Ризобии сои – это специализированные азотофикссирующие бактерии, которые вступают в симбиотические отношения с корнями растений сои. Они играют ключевую роль в улучшении роста, развития, повышения продуктивности и устойчивости сои к неблагоприятным условиям окружающей среды и болезням [5].

Ризобии образуют клубеньки на корнях сои, где происходит процесс биологической фиксации атмосферного азота. Этот процесс обеспечивает растение доступным азотом, который является важнейшим элементом для роста и развития. Азот используется для синтеза белков, нуклеиновых кислот и других жизненно важных соединений. Симбиотическая фиксация азота позволяет снизить потребность в минеральных азотных удобрениях, что снижает затраты на производство и улучшает экологическую обстановку за счет уменьшения загрязнения почвы нитратами [6]. Ризобии играют важную роль в улучшении роста, развития и продуктивности сои. Они обеспечивают растения доступным азотом, повышают

урожайность, что делает выращивание сои более экологичным и безопасным для окружающей среды. Ризобии стимулируют развитие корневой системы, что способствует лучшему поглощению воды и питательных веществ из почвы. Благодаря дополнительному источнику азота растения сои формируют больше листьев, стеблей и корней. Отмечено также повышение продуктивности растений сои.

Симбиотическая фиксация азота напрямую влияет на урожайность сои. Растения, инфицированные эффективными штаммами ризобий, формируют наибольшее количество бобов и семян. Доказано, что эффективность фиксации азота зависит от штамма ризобий, условий окружающей среды и агротехнических мероприятий. Например, использование высокоеффективных инокулянтов (нитрагина) позволяет значительно повысить продуктивность даже на почвах с низким содержанием доступного азота [6]. Ризобии не только улучшают питание растений, но и способствуют их устойчивости к различным биотическим и абиотическим стрессорам. Растения сои, ассоциированные с ризобиями, демонстрируют повышенную устойчивость к фитопатогенам (например, грибным заболеваниям). Это связано с усилением иммунной системы растения за счет активации механизмов системного устойчивого ответа. Ризобии также способствуют улучшению водоудерживающей способности растений и их адаптации к неблагоприятным условиям среды. Некоторые штаммы ризобий выделяют antimикробные вещества, подавляющие рост патогенных микроорганизмов в ризосфере.

Использование ризобий в агротехнологиях имеет как экологические, так и экономические преимущества. Оно позволяет снизить затраты на минеральные удобрения, повысить рентабельность производства и улучшить экологическую обстановку за счет уменьшения загрязнения почвы нитратами [7]. Ризобии играют важную роль в улучшении роста, развития и продуктивности сои. Они обеспечивают растения доступным азотом, повышают

его устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам окружающей среды. Применение инокулянтов с эффективными штаммами ризобий является перспективным направлением для повышения урожайности сои и одним из основных факторов функционирования устойчивого земледелия.

Целью исследований явилось изучение влияния инокуляции семян сои коллекционными штаммами *Bradyrhizobium elkanii* на формирование урожая, его структуру и качество скороспелого сорта сои Алпетра. В задачи исследований входило:

1. Установление влияния чистых культур *Bradyrhizobium elkanii* на энергию прорастания и всхожесть семян сои сорта Алпетра.

2. Оценка роли инокуляции в формировании урожайности сои сорта Алпетра.

Условия, материалы и методы исследований. Полевые исследования проводили на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института сои (Амурская область, Тамбовский муниципальный округ, с. Садовое).

Почва луговая черноземовидная среднемощная (гумусовый слой (A+AB) составляет 20–30 см), характеризующаяся содержанием подвижного фосфора P_2O_5 и калия K_2O (по Кирсанову) – соответственно 12–23 и 170–210 мг/кг почвы; минерального азота NO_3+NH_4 – 18–25 мг/кг. Реакция почвенного раствора слабокислая (pH_{KCl} 5,2 ед.), гидролитическая кислотность (H_r) – 2,52 ммоль/экв. на 100 г почвы. В амурских почвах широко распространены природные популяции ризобий, способных модулировать сою и другие зернобобовые культуры.

Метеорологические условия в зоне проведения полевых исследований являются типичными для муссонного климата. Наиболее теплым месяцем выступает июль. Большее количество осадков выпадает в июле и августе. По среднемноголетним данным доля осадков в эти месяцы составляет 48 % от годовой суммы. В отдельные годы наблюдаются существенные отклонения показателей температуры воздуха и особенно количества осадков от среднемноголетних данных. В 2024 г. в зоне исследований среднемесячная тем-

пература воздуха в апреле – сентябре была на уровне среднемноголетних показателей. Распределение осадков по месяцам в течение вегетационного периода было неравномерным. В апреле сумма осадков превышала среднемноголетнее значение незначительно – на 17,3 мм. В июне этот показатель был в два раза выше, а в июле, августе, сентябре – практически в два раза ниже нормы. Это обстоятельство не позволило сорту Алпетра в полной мере раскрыть свой биологический потенциал.

Объектами исследований являлись семена и растения сои сорта Алпетра, чистые культуры ризобий, выделенные из природных популяций почв Дальнего Востока.

Сорт сои Алпетра создан в 2020 г., селекционный номер – Амурская 2495. Он относится к маньчжурскому (*manshurica*) подвиду, аprobационная группа – *flavida* Enk. Сорт был создан методом гибридизации ♀И.0144142 – Бара (ВНИИМК) × ♂Ам. 2177 с последующим использованием многократного индивидуального отбора с прослеживанием по потомству (метод педигри).

По производственной классификации относится к группе скороспелых сортов, с периодом вегетации 97 дней; созревает на 6–8 дней раньше скороспелого стандарта Лидия. Сорт предназначен для зоны с суммой активных температур в пределах 1 800–2 200 °C.

Общая площадь делянки составила 40 м², учетная – 20 м²; повторность четырехкратная, расположение делянок систематическое со смещением. Посев сои проводили 1 июня при норме высева, равной 550 тысяч всхожих семян на гектар. Предшественник – ячмень. Агротехника в опыте осуществлялась согласно системе земледелия Амурской области [8]. В день посева семена сои обрабатывались супензией штаммов клубеньковых бактерий из принятого расчета 100 000 клеток на одно семя.

В течение всего периода вегетации проводили фенологические наблюдения за ростом и развитием растений сои. В фазы цветения (R_2) и образования бобов (R_3) отбирали почвенные образцы тростевым буром в 17–20 точках на учетной площади делянки, растительные – по 25 случайных растений с делянки. Учет количества и

массы клубеньков в фазу образования бобов проводили по методике [9].

Учет урожая сои осуществляли методом сплошного обмолота растений с учетной площади делянки комбайном John Deer 3070. Определение структуры урожая выполнялось по методике, описанной Б. А. Доспеховым [10].

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакетов программ PAST (PAIaeontological SStatistics) (версия 4.03, 2020) и Microsoft Excel [11].

Результаты исследований. В результате проведенных исследований по изучению влияния различных штаммов клубеньковых бактерий на прорастание и развитие семян сои сорта Аллпетра использование чистых культур *Bradyrhizobium elkanii* показало положительное влияние на скорость и энергию прорастания семян. В вариантах с инокуляцией семян наблюдалось снижение зараженности эпифитной микрофлорой. В среднем, энергия прорастания бактеризованных семян сои увеличилась на 15 %, длина проростков – на 120 %. При использовании штаммов *Bradyrhizobium elkanii* (в отличии от контрольных вариантов) микрофлора на семенах практически отсутствовала. Показатели энергии прорастания и длины проростков имели высокую вариабельность (коэффициенты вариации для прорастания и для длины проростков равны 68,9 % и 82,2 % соответственно).

Установлено, что наибольший эффект отмечается при использовании следующих штаммов *Bradyrhizobium elkanii*: Ву-25, Мд-0, Ву-9, Ву-10, ФЗ-28. Ризобии стимулировали рост длины проростков при средней вариабельности показателя (56,8 %). Инокуляция семян способствовала увеличению сырой массы проростков (коэффициент вариации – 45,2 %).

Обработка ризобиями положительно сказалась на накоплении сырой массы проростков при коэффициенте вариации 43,2 %. Наибольший прирост массы был зафиксирован у сои при обработке штаммами Ву-5 и Ву-25 (на 16–39 %).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокие показатели энергии прорастания семян сои наблюдали в вариантах с бактеризацией следующими штам-

мами *Bradyrhizobium elkanii*: Ву-5, Ву-10, Ву-11, Ву-25. Максимальные показатели сырой массы проростков сои, составившие 5,81 г на 10 растений, отмечены в варианте с использованием штамма Ву-25. Эти штаммы рекомендуется использовать при производстве биопрепаратов.

Проведенные фенологические наблюдения показали, что применение штаммов *Bradyrhizobium elkanii* не оказало существенного влияния на сроки наступления фенологических фаз (массовые всходы, формирование первого настоящего листа, бутонизация, налив бобов и полная спелость) и продолжительность межфазных периодов.

Учет густоты растений в фазу массовых всходов показал, что применение большинства штаммов не привело к значительным изменениям густоты растений по сравнению с контролем (табл. 1). Исключение составил вариант с инокуляцией семян штаммом Ву-9, где густота растений снизилась на 23,8 % (с 48 до 63 растений на квадратный метр) в сравнении с контролем, что является статистически значимым ($HCP_{05} = 12$ шт./ m^2).

К фазе полной спелости значительных различий в густоте стояния растений между вариантами опыта также не отмечено. Однако в вариантах с использованием штаммов Ву-4, Ву-6, Ву-9 и Мд-0 наблюдалось увеличение густоты посева на 5,4–13,7 % по сравнению с фазой массовых всходов. Это свидетельствует о возможном пролонгированном стимулирующем воздействии данных штаммов ризобий на семена, что обеспечивало прорастание ранее непроросших семян.

Сохранность растений к уборке варьировала от 77,9 до 113,7 %. Наибольшая сохранность была зафиксирована в вариантах с инокуляцией штаммами Ву-6 (113,7 %), Ву-9 (108,3 %), Ву-1 (105,6 %) и Мд-0 (105,4 %). В контроле этот показатель составил 85,7 %.

Комплексным показателем эффективности штаммов клубеньковых бактерий является повышение урожайности, которое ставят в приоритет многие исследователи. Изучение эффективности штаммов *Bradyrhizobium elkanii* в полевых условиях показало позитивное влияние применения изучаемых чистых культур на формирование общей продуктивности по-

Таблица 1 – Густота стояния растений в посеве и сохранность сои сорта Алпетра к уборке, 2023–2024 гг.

Table 1 – Plant density in sowing and preservation of Alpetra soybeans for harvesting, 2023–2024

Вариант	Густота растений, штук/м ²		Сохранность к уборке, %
	массовые всходы	полная спелость	
Контроль	63	54	85,7
By-1	54	57	105,6
By-5	61	51	83,6
By-6	51	58	113,7
By-9	48	52	108,3
By-10	68	53	77,9
By-11	59	55	93,2
By-25	59	53	89,8
Вр-1	51	49	96,1
Ф3-28	56	55	93,2
Мд-0	56	59	105,4

сева сои. Установлен прирост надземной массы растений на ризобиальном фоне в сравнении с контрольным вариантом (без инокуляции). Тенденция максимального накопления соевыми растениями сухого вещества в фазу налива бобов отмечена в вариантах с применением штаммов By-10, By-5, By-4, где прирост этого показателя

по отношению к контролю составлял соответственно 132; 91 и 70 % (табл. 2).

В этих же вариантах, а также на фоне применения штаммов By-6, наблюдалась тенденция увеличения массы корней и клубеньков. Существенный на 5-процентном уровне значимости прирост клубеньков в сравнении с контролем обе-

Таблица 2 – Формирование надземной массы, корней и клубеньков растениями сои сорта Алпетра в фазу налива бобов на одном растении, при инокуляции семян различными штаммами ризобий *Bradyrhizobium elkanii* (абсолютно сухая масса, 2023–2024 гг.)

Table 2 – Formation of aboveground mass, roots and nodules by Alpetra soybean plants during the bean filling phase on one plant, during inoculation of seeds with various strains of rhizobium *Bradyrhizobium elkanii* (absolutely dry mass, 2023–2024)

Вариант	Надземная часть		Корни		Клубеньки			
	г	%	г	%	масса		количество	
					г	%	штук	%
Контроль	9,0	100	1,8	100	0,18	100	35	100
By-4	17,3	191	2,0	109	0,37	203	75	214
By-5	15,4	170	2,2	124	0,31	174	73	209
By-6	12,1	134	2,1	117	0,30	164	54	154
By-9	13,6	151	1,8	100	0,34	186	43	123
By-10	20,9	232	2,1	119	0,36	197	60	171
By-11	10,5	117	1,7	95	0,36	200	80	229
By-25	10,7	118	1,9	108	0,49	271	56	160
Вр-1	10,6	118	2,0	111	0,37	204	53	151
Ф3-28	11,0	121	1,8	103	0,29	158	43	123
Мд-0	7,0	78	1,8	100	0,34	188	58	166

спечивали варианты с инокуляцией семян штаммами Ву-4, Ву-25, Вр-1. При этом достоверная прибавка показателя составила от 101 до 171 %. Отмечена достаточно определенная тенденция увеличения количества клубеньков во всех вариантах с инокуляцией семян изучаемыми штаммами ризобий.

Корреляционный анализ позволил установить сопряженность отдельных морфометрических параметров соевого растения изучаемого сорта. Анализ парной корреляционной матрицы в целом предполагает прямую среднюю сопряженность между изучаемыми биоморфометрическими показателями (табл. 3).

Изучение динамики накопления растениями сои основных элементов питания в наиболее критические фазы роста культуры позволило установить достаточно устойчивую тенденцию повышения содержания азота, фосфора и калия в растениях, произрастающих на инокулированном штаммами фоне. При этом применение в технологии возделывания культуры штамма ФЗ-28 обеспечило существенное превышение (2,4 %) по отношению к контролю содержания азота в растениях в фазу цветения (табл. 4).

Близкие к достоверным величинам прибавки в накоплении фосфора и калия установлены в вариантах с инокуляцией семян сои штаммами Ву-11 (по фосфору) и Ву-5, Вр-1 (по калию). Существенных различий в накоплении основных элементов питания растениями в фазу образования бобов в зависимости от изучаемых вариантов не наблюдалось.

В результате предпосевной инокуляции семян изучаемыми штаммами *Bradyrhizobium elkanii* установлено повышение semenной продуктивности посева сои сорта Алпетра (табл. 5). Наибольшую в сравнении с контролем прибавку урожайности семян обеспечили следующие штаммы: Ву-5, Ву-9, Ву-10, Ву-11, Ву-25, Вр-1, Мд-0. Величина прибавки, в пересчете на 1 га колебалась по вариантам от 0,32 до 0,47 т (при НСР₀₅ = 0,29 т/га).

Анализ структуры урожая показал, что применение штаммов Ву-6 и Ву-25 обеспечило увеличение в сравнении с контрольным вариантом индивидуальной продуктивности растений изучаемого сорта сои. Общая надземная биомасса растений в указанных вариантах была выше на 9,5 и 2,7 %, а семенная продуктивность – на 12,5 и 1,5 % соответственно (табл. 6). Штамм Ву-6 способствовал увеличению на 7,6 % по отношению к контролю крупности семян, полученных с урожаем, выраженной массой их 1 000 штук. В остальных изучаемых вариантах величина этого показателя, как и показателей других элементов структуры урожая, была на уровне значений, полученных в контроле (без обработки семян штаммами).

Заключение. 1. Установлена способность культур ризобий сои *Bradyrhizobium elkanii* стимулировать процесс прорастания семян и формирование здоровых проростков. В среднем, в вариантах с использованием штаммов *Bradyrhizobium elkanii* энергия прорастания семян сои возросла на 22 %, длина проростков – на 50 %, сухая масса проростков – на 29 % по срав-

Таблица 3 – Парная корреляционная матрица сопряженности биоморфометрических показателей растений сои сорта Алпетра в фазу налива бобов, 2023–2024 гг.

Table 3 – Paired correlation matrix of the conjugacy of biomorphometric indicators of soybean plants of the Alpetra variety in the bean filling phase, 2023–2024

Показатели	Масса надземной части растения, г	Корни, г	Количество клубеньков, шт.	Масса клубеньков, г
Масса надземной части растения, г	1	–	–	–
Корни, г	0,63±0,45	1	–	–
Количество клубеньков, шт.	0,35±0,54	0,25±0,56	1	–
Масса клубеньков, г	0,16±0,57	0,11±0,57	0,45±0,52	1

Таблица 4 – Динамика накопления растениями сои основных элементов питания, 2023–2024 гг.

Table 4 – Dynamics of soybean plant accumulation of essential nutrients, 2023–2024
В процентах на абсолютно сухое вещество
As a percentage of a completely dry substance

Варианты	Цветение			Бобообразование		
	азот	фосфор	калий	азот	фосфор	калий
Контроль	2,96	0,53	1,56	2,95	0,64	1,60
By-4	2,92	0,58	1,66	3,00	0,62	1,63
By-5	2,96	0,59	1,74	3,10	0,53	1,59
By-6	2,98	0,54	1,67	2,93	0,67	1,66
By-9	2,99	0,54	1,66	2,92	0,69	1,57
By-10	2,93	0,59	1,67	2,98	0,66	1,58
By-11	2,92	0,60	1,66	2,94	0,66	1,59
By-25	2,98	0,56	1,67	2,95	0,65	1,61
Вр-1	2,96	1,59	1,74	2,97	0,63	1,60
Фз-28	3,03	0,52	1,70	2,93	0,65	1,66
Мд-0	2,97	0,56	1,72	2,96	0,61	1,51
HCP ₀₅	0,09	0,07	0,17	0,15	0,11	0,16
<i>F_φ</i>	1,15	1,34	0,71	0,97	1,28	0,58

Таблица 5 – Урожайность сои сорта Алпетра в зависимости от инокуляции семян штаммами *Bradyrhizobium elkanii*, 2023–2024 гг.

Table 5 – Alpetra soybean yield depending on seed inoculation with *Bradyrhizobium elkanii* strains, 2023–2024

В тоннах с одного гектара (in tons per hectare)

Вариант	Повторения				Средняя	Отношение к контролю
	I	II	III	IV		
Контроль (без обработки)	1,47	1,51	1,67	2,08	1,68	–
By-4	1,63	1,64	2,06	1,91	1,81	0,13
By-5	1,77	2,16	1,99	2,34	2,06	0,38
By-6	1,76	2,05	1,05	2,26	1,78	0,10
By-9	2,08	2,18	2,06	2,23	2,14	0,46
By-10	1,77	1,98	2,15	2,20	2,03	0,35
By-11	2,09	2,04	1,92	2,20	2,06	0,38
By-25	1,93	2,24	2,18	2,25	2,15	0,47
Вр-1	1,81	1,91	2,11	2,17	2,00	0,32
Фз-28	1,51	1,95	2,10	2,06	1,91	0,23
Мд-0	1,81	1,78	2,11	2,30	2,00	0,32
HCP ₀₅					0,29	

Таблица 6 – Структура урожая сои сорта Алпетра при обработке семян различными штаммами ризобий (на одно растение), 2023–2024 гг.

Table 6 – The structure of the Alpetra soybean crop during seed treatment with various strains of rhizobia (per plant), 2023–2024

Варианты	Высота, см		Количество, шт.		Масса, г		Масса 1 000 семян, г
	растения	прикрепления нижнего боба	бобов	семян	растения	семян	
Контроль	70	15	23	47	14,7	7,3	142,2
By-4	67	15	22	48	13,5	6,6	136,4
ВУ-5	68	15	21	42	12,2	5,9	139,0
By-6	68	14	25	55	16,1	8,2	153,0
By-9	74	14	22	48	13,3	6,9	142,0
By-10	66	16	17	36	11,0	5,1	139,6
By-11	68	14	21	49	12,7	6,5	132,4
By-25	72	16	23	53	15,1	7,4	138,8
Вр-1	71	16	23	51	13,8	7,0	136,0
Ф3-28	68	15	20	43	12,2	5,9	135,6
Мд-0	70	16	22	44	12,4	6,1	137,9

нению с контролем. Максимально стимулировали процесс прорастания семян сои штаммы By-5, By-6, By-10, By-11, By-25, Вр-1, Ф3-28, Мд-0.

2. Применение коллекционных штаммов *Bradyrhizobium elkanii* способствует значительному увеличению надземной массы растений сои сорта Алпетра. Наибольший эффект был достигнут при использовании штамма By-10 (232 % от контроля).

3. Инокуляция семян стимулировала развитие корневой системы сои. Максимальная масса корней была зафиксирована в варианте с использованием штамма By-5 (124 % от контроля).

4. Наиболее значительное увеличение массы и количества клубеньков наблюдалось при использовании штаммов ВУ-4, By-25 и Вр-1. Штамм By-25 обеспечил максимальную массу клубеньков (271 % от контроля), By-11 – наибольшее количество клубеньков (229 % от контроля).

5. Высокую эффективность показали штаммы By-5, By-9, By-10, By-11, By-25, Вр-1, Мд-0, достоверно повысив семенную продуктивность сои сорта Алпетра в сравнении с контролем на 0,32–0,47 тонн с гектара ($HCP_{05} = 0,29$ т/га). Максимальная прибавка урожая семян сои по отношению к контролю (0,47 т/га) получена в варианте с использованием штамма By-25.

Список источников

1. Mejri S. Potential of rhizobia in improving nitrogen fixation and yields of legumes // *Symbiosis*. 2018. P. 1–12. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.73495>.
2. Neda E. K. Competency of rhizobial inoculation in sustainable agricultural production and biocontrol of plant siseases // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021. Vol. 5. P. 1–22. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2021.728014>.
3. Тарчков Х. Ш. Особенности методики агротехнологических приемов возделывания сои : монография. Нальчик : Принт Центр, 2019. 68 с. EDN HMZFDW.
4. Матвейчук П. Н., Лысенко Н. Н., Прудникова Е. Г. Передовой опыт возделывания сои в производственных условиях ООО «Дубовицкое» Орловской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 1 (29). С. 47–55. doi: 10.24411/2309-348X-2019-11072. EDN YZEUPR.
5. Якименко М. В., Бегун С. А. Оценка действия препаратов растительного происхождения на рост и развитие микро- и макросимбионтов сои // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (140). С. 245–252. EDN VOMCDC.

6. Феоктистова Н. В., Морданова Г. Ф., Хадиева М. Р., Шарипова М. Р. Ризосферные бактерии // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 158. № 2. С. 207–224. EDN WGNBEN.
7. Lopez S. M. Y., Sanchez M. D. M., Pastorino G. N. Nodulation and delayed nodule senescence: Strategies of two *Bradyrhizobium Japonicum* isolates with high capacity to fix nitrogen // Current Microbiology. 2018. No. 75. P. 997–1005. doi: 10.1007/s00284-018-1478-0.
8. Система земледелия Амурской области : производственно-практический справочник / под ред. П. В. Тихончука. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2016. 570 с. doi: 10.22450/9785964202769. EDN XRDEZF.
9. Бегун С. А. Способы, приемы изучения и отбора эффективных штаммов клубеньковых бактерий сои. Методы аналитической селекции : методические рекомендации. Благовещенск : Зея, 2005. 70 с. EDN QKXXEN.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник. М. : Альянс, 2011. 351 с. EDN QLCQEP.
11. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Paleontological statistics (version 3.26). University of Oslo, 2014. 78 p.

References

1. Mejri S. Potential of rhizobia in improving nitrogen fixation and yields of legumes. *Simbiosis*, 2018;1–12. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.73495>.
2. Neda E. K. Competency of rhizobial inoculation in sustainable agricultural production and biocontrol of plant siseases. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021;5:1–22. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2021.728014>.
3. Tarchokov Kh. Sh. *Peculiarities of the methodology of agrotechnological soybean cultivation techniques: monograph*, Nal'chik, Print Tsentr, 2019, 68 p. EDN HMZFDW (in Russ.).
4. Matveychuk P. N., Lysenko N. N., Prudnikova E. G. Advanced experience of soybean cultivation in the production conditions of Dubovitskoe LLC, Orel region. *Zernoboboye i krupyanje kul'tury*, 2019;1(29):47–55. doi: 10.24411/2309-348X-2019-11072. EDN YZEUPR (in Russ.).
5. Yakimenko M. V., Begun S. A. Evaluation of the effect of herbal products on the growth and development of soybean micro- and macrosymbionts. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018;5(140):245–252. EDN VOMCDC (in Russ.).
6. Feoktistova N. V., Mordanova G. F., Khadieva M. R., Sharipova M. R. Rhizosphere bacteria. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2016;158;2:207–224. EDN WGNBEN (in Russ.).
7. Lopez S. M. Y., Sanchez M. D. M., Pastorino G. N. Nodulation and delayed nodule senescence: Strategies of two *Bradyrhizobium Japonicum* isolates with high capacity to fix nitrogen. *Current Microbiology*, 2018;75:997–1005. doi: 10.1007/s00284-018-1478-0.
8. Tikhonchuk P. V. (Eds). *The farming system of the Amur region: a production and practical guide*, Blagoveshchensk, Dal'nrevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2016, 570 p. doi: 10.22450/9785964202769. EDN XRDEZF (in Russ.).
9. Begun S. A. *Methods, techniques for studying and selecting effective strains of soybean nodule bacteria. Methods of analytical selection: guidelines*, Blagoveshchensk, Zeya, 2005, 70 p. EDN QKXXEN (in Russ.).
10. Dospelkov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook*, Moscow, Al'yans, 2011, 351 p. EDN QLCQEP (in Russ.).
11. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Paleontological statistics (version 3.26), University of Oslo, 2014, 78 p.

© Рафальская О. М., Рафальский С. В., Рафальская Н. Б., 2025

Статья поступила в редакцию 22.09.2025; одобрена после рецензирования 01.12.2025; принята к публикации 05.12.2025.

The article was submitted 22.09.2025; approved after reviewing 01.12.2025; accepted for publication 05.12.2025.

Информация об авторах

Рафальская Ольга Михайловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, rom@vniisoi.ru;

Рафальский Сергей Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, rsv@vniisoi.ru;

Рафальская Наталья Батрабековна, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сои, rnb0776@mail.ru

Information about authors

Olga M. Rafalskaya, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, rom@vniisoi.ru;

Sergey V. Rafalskiy, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, rsv@vniisoi.ru;

Natalia B. Rafalskaya, Senior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, rom@vniisoi.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.