

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СИМБИОТРОФНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ СОИ

К.Ю. ЗУБАРЕВА, кандидат биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-7083-6730,
E-mail: kristi_orel@bk.ru

Т.А. ХРЫКИНА, старший научный сотрудник, ORCID ID:0000-0003-2037-6059

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

Аннотация. В статье приведены результаты исследования влияния применения полифункциональных микроорганизмов в составе биопрепаратов посредством предпосевной обработки семян и фолитарных подкормок вегетирующих растений на работу симбиотического аппарата у разных сортов сои. Научная новизна – выявлены особенности влияния комбинированного внесения биопрепаратов, содержащих, в том числе, новые штаммы ризосферных микроорганизмов и их метаболитов, на количество, массу азотфиксирующих клубеньков и их нитрогеназную активность на корневой системе сои разных сортов селекции ФНЦ ЗБК. Определена корреляционная связь между показателями деятельности азотфиксирующего симбиотического аппарата растений сои и ее урожайностью для исследуемых объектов в условиях темно-серой лесной почвы Орловской области.

Ключевые слова: соя, сорт, симбиоз, нитрогеназная активность, микроорганизмы.

Для цитирования: Зубарева К.Ю., Хрыкина Т.А. Интенсификация процессов симбиотрофного питания растений сои. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2026. № 2 (58): 58-66. DOI: 10.24412/2309-348X-2026-2-58-66

INTENSIFICATION OF SYMBIOTROPHIC NUTRITION PROCESSES OF SOYBEAN PLANTS

K. Yu. Zubareva, T.A. Khrykina

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS, Orel

Abstract: The objective of this study was to investigate the impact of using multifunctional microorganisms in biopreparations through pre-sowing seed treatment and foliar feeding of vegetative plants on the functioning of the symbiotic system in different soybean varieties. The scientific novelty lies in the identification of the effects of combined application of biopreparations, including new strains of rhizospheric microorganisms and their metabolites, on the number and weight of nitrogen-fixing nodules and their nitrogenase activity in the root system of soybean varieties bred at the Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops. A correlation was determined between the activity indicators of the nitrogen-fixing symbiotic apparatus of soybean plants and its yield for the studied varieties in the conditions of dark gray forest soil of the Orel region.

Keywords: variety, soybean, symbiosis, nitrogenase activity, microorganisms.

Интенсификация симбиотрофного питания растений сои – это комплекс агробιοлогических приемов, направленных на максимальную активацию клубеньковых бактерий (*Bradyrhizobium japonicum*), что позволяет растительному организму самостоятельно обеспечивать себя биологическим азотом, снижая затраты на минеральные удобрения и повышая урожайность [1].

Предпосевная обработка высокоэффективными штаммами ризобий является главным условием успешной азотфиксации. Если их нет в почве или их популяция очень мала, то

применяют инокуляцию перед посевом бактериями родов *Rizobium* или *Bradyrizobium*. Если в почве присутствуют аборигенные расы этих бактерий, то в агротехнологиях применяют биофортификацию полифункциональными микроорганизмами (например, на основе торфа или жидких биопрепаратов), которые в том числе активизируют и интенсифицируют процессы и процедуры работы симбиотического аппарата корневой системы растений бобовых культур [2-4]. Такие биоагенты, как правило, обладают широким спектром механизмов их положительного действия, а именно: стимулирующими свойствами по отношению к росту растений и активизации их иммунного статуса к биотическим и абиотическим стрессам; также набором хозяйственно ценных признаков, которые могут выступать субстратными компонентами для роста бактерий ризосферы, например, за счет синтеза внеклеточных ферментов, экзополисахаридов, участия в процессах мобилизации фосфора и калия из удобрительных комплексов и почвы, а также фиксации азота, в том числе, и из атмосферного воздуха [5]; генерирования и разложения гумуса, минерализации органики [6], иммобилизации подвижных элементов, биоизоляции излишков нитратов и фосфатов, биоремедиации почв, деструкции токсических соединений в безопасные компоненты; продуцирования антибиотических веществ, ингибирующих патогены и другие [7, 8].

Цель исследований – изучить влияние применения полифункциональных микроорганизмов в составе биопрепаратов посредством предпосевной обработки семян и фолиарных подкормок вегетирующих растений на работу симбиотического аппарата у разных сортов сои.

Материал и методы исследования

Исследования выполнялись в 2022-2025 гг. на базе лаборатории управления вегетацией и продукционным процессом сельскохозяйственных культур ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, расположенном в зоне умеренно континентального климата.

Температурный режим и выпавшие осадки за годы исследований демонстрируют значительную межгодовую изменчивость (табл. 1).

Объектом исследований являлись сорта сои в основном селекции ФГБНУ ФНЦ ЗБК: ранний, детерминантный по типу роста и развития сорт Орлея; ранний, индетерминантный – Осмонь; ранний, индетерминантный – Мезенка; среднеранний, одностебельный, полудетерминантный – Зуша и ранний с тенденцией к среднераннему, детерминантный сорт Лидер 1 (селекции ООО «АСТ», Курск). Предпосевная обработка семян проводилась за день до посева вручную согласно регламенту производителя Bionovatic. Микробиологические препараты получены в рамках Договора о сотрудничестве с ООО «Органик парк» № ОПИ 12/22 от 25.04.2022 г. Площадь опытных делянок – 10 м². Повторность – четырехкратная. Предшественник – черный пар. Срок посева – оптимальный, приходящийся на 2-ую или 3-ю декаду мая (в зависимости от погодных условий года) с последующим диапазоном достаточных температур в фазе прорастания семян в 12-14°C. Посев сеялкой СКС-6-10 широкорядным способом с шириной междурядий 45 см при норме высева 600 тысяч всхожих семян на 1 га. Способ уборки – прямое комбайнирование, поделяночно.

Схема опыта в 2022-2024 гг:

1. Контроль (без применения микробиологических препаратов);
2. Предпосевная обработка семян баковой смесью Organit P (д.в. споры штамма *Bacillus megaterium* OPP-31), 3 л/т + Organit N (д.в. клетки и биологически активные метаболиты штамма *Azospirillum zeae* OPN-14), 3 л/т + Pseudobacterin 3 (д.в. живые клетки штамма *Pseudomonas aureofaciens* 2391Д), 3 л/т + Biodux (д.в. биологически активный комплекс полиненасыщенных жирных кислот низшего почвенного гриба штамма *Montierella alpine* F-1134), 3 мл/т (за день до посева), далее – предпосевная обработка;
3. Предпосевная обработка + одна листовая подкормка в период развития 1-3 тройчатых листьев (ВВСН 103-105) баковой смесью Organit P, 2 л/га + Organit N, 2 л/га + Pseudobacterin 3, 2 л/га + Biodux, 4 мл/г, далее – предпосевная обработка семян +1 листовая подкормка;
4. Предпосевная обработка семян + две листовые подкормки в период развития 1-3 тройчатых листьев (ВВСН 103-105) и в период развития бутонов (ВВСН 501-505) баковой смесью Organit P, 2 л/га + Organit N, 2 л/га + Pseudobacterin 3, 2 л/га + Biodux, 4 мл/г, далее – предпосевная обработка семян +2 листовые подкормки.

Таблица 1

Гидротермические условия полевых сезонов в 2022-2025 гг.

Показа-тель/ Месяцы Декада		Средняя температура воздуха, °С (± к средненогол. норме)				Сумма выпавших осадков, мм (% к средненогол. норме)				ГТК* 2022/2023/ 2024/2025 (многолетнее)
		2022	2023	2024	2025	2022	2023	2024	2025	
Май	1	10,2 (+2,0)	8,1 (-4,5)	9,7 (-2,9)	9,8 (-2,8)	3,9 (24,4)	8,2 (54,7)	39,4 (355,0)	8,2 (54,7)	1,52/0,29/ 1,65/0,67 (1,34)
	2	12,0 (-2,0)	15,1 (0,8)	10,5 (-3,8)	11,5 (-2,8)	21,9 (156,4)	0 (0)	17,4 (108,0)	6,4 (40,0)	
	3	12,2 (-2,9)	15,3 (-0,5)	18,1 (2,3)	19,1 (3,3)	25,3 (120,5)	8,6 (50,6)	13,6 (80,0)	13,7 (80,6)	
Июнь	1	18,0 (+1,9)	15,6 (-1,4)	19,5 (2,5)	18,8 (1,8)	2,4 (12,0)	1,7 (11,3)	19,3 (128,7)	38,6 (257,3)	0,92/1,1/1,15/2,48 (1,18)
	2	18,6 (+1,8)	18,3 (+0,4)	19,8 (1,9)	15,1 (-2,8)	18,6 (66,4)	9,6 (41,7)	36,3 (157,8)	34,8 (151,3)	
	3	20,5 (+3,1)	17,4 (-1,4)	19,2 (0,4)	14,6 (-4,2)	31,5 (126,0)	44,6 (165,2)	11,8 (43,7)	47,0 (174,1)	
Июль	1	21,3 (+3,5)	20,7 (+1,2)	23,4 (3,9)	20,7 (1,2)	6,6 (19,4)	13,5 (50,0)	36,5 (135,2)	3,3 (12,2)	1,07/1,3/ 1,16/0,6 (1,42)
	2	16,5 (-1,6)	17,8 (-2,2)	23,8 (3,8)	22,3 (2,3)	46,0 (170,4)	6,8 (21,3)	20,4 (63,8)	12,3 (38,4)	
	3	19,5 (-1,4)	19,2 (-0,9)	19,4 (-0,7)	21,4 (1,3)	10,9 (545,0)	57,0 (203,6)	22,6 (80,7)	24,4 (87,1)	
Август	1	21,1 (-3,2)	22,2 (+2,5)	18,3 (-1,4)	19,3 (-0,4)	13,3 (66,5)	14,6 (97,3)	21,1 (140,7)	43,6 (290,7)	0,48/0,7/ 0,64/2,32 (1,26)
	2	21,9 (-4,6)	21,0 (+2,4)	18,8 (0,2)	16,6 (-2,0)	6,1 (29,0)	14,8 (82,2)	7,9 (43,9)	9,5 (52,8)	
	3	22,2 (+6,3)	18,0 (+0,9)	22,2 (5,1)	14,7 (-2,4)	12,8 (58,2)	14,5 (84,8)	10,2 (46,4)	67,4 (306,4)	
Сентябрь	1	9,1 (-4,5)	15,7 (+0,6)	19,4 (+4,3)	16,2 (1,0)	2,3 (12,8)	0	0	0	1,67/0/ 0,1/0,35 (1,50)
	2	11,0 (-0,6)	14,5 (+1,5)	19,2 (6,2)	14,5 (1,5)	55,0 (323,6)	0	10 (63,0)	5,8 (36,3)	
	3	9,7 (+0,2)	15,8 (+5,0)	15,9 (+5,1)	10,9 (0,1)	53,7 (315,9)	0	0	8,6 (45,3)	

*- по Г.Т. Селянинову; 04-09 – месяцы с апрель по сентябрь

В 2025 году на сортах Мезенка и Орлея применялась баковая смесь немного измененного состава в сравнении с опытами, поставленными в период 2022-2024 гг.: предпосевная обработка семян баковой смесью инокулянта Organit Rizo (д.в. живые клетки *Bradyrhizobium sp.* ОРВ-43), 3 л/т + органо-минерального удобрения ПрофиФлекс, 2 л/т (в день посева) + одна (две) листовые подкормки в фазу развития 1-3 тройчатых листьев (ВВСН 103-105) и в период развития бутонов (ВВСН 501-505) баковой смесью Orqanit N, 2 л/га + Orqanit P, 2 л/га + Biodux, 2 мл/га.

Почвенный профиль опытного участка в рамках 4-х польного севооборота (чистый пар – опытное поле в основном с азотфиксирующими культурами – озимая пшеница – гречиха) представлен темно-серыми лесными почвами среднесуглинистого механического состава. Агрохимические показатели в слое 0-20 см представлены диапазоном значений на основе анализа протоколов испытаний почвенных образцов в ИЦ ФГБУ «Орелагротехнология» (№ 67 от 21.07.2023 г.; № 48 от 02.10.2024 г.; № 30 от 26.05.2025 г.). рН_{солевой вытяжки} (ГОСТ 26423-85) – 4,51-4,87 (среднекислая), содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021) – 3,86-4,54 % (от слабо- до среднегумусированных), нитратного азота – 8,93-28,23 мг/кг почвы (ГОСТ 26951-86), аммонийного азота – 6,19-17,05 мг/кг почвы (ГОСТ 26489-85), обменного калия (ГОСТ 54650-2011) – 8,8-14,3 мг/100 кг почвы (средняя обеспеченность), подвижного фосфора (ГОСТ 54650-2011) – 11,3-24,8 мг/ 100 кг почвы (от повышенной до высокой обеспеченности). Рельеф слабо выражен, склон северный.

Постановку полевого опыта выполняли по методике Б.А. Доспехова (1985). Количество, массу и активность азотфиксирующих клубеньков на корневой системе растений сои исследовали по методике Г.С. Посыпанова (1991). Определение активности нитрогеназы симбиотических азотфиксирующих бактерий проводили «ацетиленовым» методом, основанном на восстановлении ацетилена (C₂H₂) до этилена (C₂H₄), на портативном хроматографе ФГХ-1 с пламенным ионизационным детектором по времени выхода каждого газа. В период отбора растительных образцов для оценки нитрогеназной (азотфиксирующей) активности ацетиленовым методом у 5 растений с каждой делянки корни промывали водопроводной водой, подсчитывали число клубеньков, помещали корни в герметичные флаконы (250 мл). Измерение количества образованного этилена проводили после экспликации в атмосфере 10% ацетилена 1 ч при 25°C с последующей остановкой химической реакции 6 мл раствором Несслера. Затем клубеньки отделяли от корней и взвешивали. Учет урожая проводили комбайновым методом. Статистическую обработку полученных результатов проводили методом дисперсионного анализа полевого опыта по Б.А. Доспехову с использованием программы Дисперсия 3.0 (Office XL).

Результаты исследований и их обсуждение

Применение микробных препаратов в экосистемных технологиях – это способ экологически безопасного управления природными процессами, основанный на использовании живых микроорганизмов. Главная задача таких технологий – частичное или полное замещение промышленных химикатов и восстановление естественного круговорота веществ без истощения ресурсов [9]. Данная сфера деятельности направлена на создание техносферы, сбалансированной с природой, для технологического суверенитета и функционирует в разрезе Указа Президента РФ от 02.11.2023 N 818 "О развитии природоподобных технологий в Российской Федерации". Основные принципы и критерии отнесения технологий к природоподобным утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 февраля 2026 г. № 337-р, где акцент делается «на снижении негативного техногенного воздействия на окружающую среду, восстановлении нарушенного природного ресурсооборота, использовании природных или природоподобных компонентов, в том числе биологических в конструкции систем или процессов с последующей интеграцией в природные экосистемы».

Микробиологические препараты комплексного действия, участвующие в оптимизации процесса сельскохозяйственного производства и сохранения «здоровой» структуры почвенной микробиоты (посредством воздействия на микрофлору почвы путем активизации

Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры» № 2 (58) 2026 г. (интенсификации биологических процессов), зачастую являются активными технологическими адаптерами агротехнологий.

В результате постоянного присутствия в севообороте опытного участка азотфиксирующих культур (горох, соя, фасоль, чечевица, кормовые бобы, чина, нут и др.) в почве сформировалась достаточно многочисленная устойчивая популяция симбиотических ризобактерий, факт которых подтверждает наличие клубеньков на корнях растений сои в контрольных и опытных вариантах (рис.).



Рис. Сформированная симбиотическая система на корнях растений сои сорта Орля в условиях опытного поля ФНЦ ЗБК (темно-серые лесные почвы) без инокуляции семян перед посевом соеспицифичными симбиотическими бактериями, как доказательство того, что в почве присутствует нативный почвенный комплекс ризобиев (29.07.2024 г.)

Дополнительное внесение микробиологических препаратов в баковой смеси в предпосевной обработке семян и в листовых подкормках повлияло на активизацию почвенной микрофлоры, а именно аборигенной расы соеспицифичных симбиотических азотфиксирующих бактерий, находящихся в почве (так как в 2022-2024 гг. инокуляцию семян перед посевом *Bradyrhizobium japonicum* не проводили) (табл. 2). Находившиеся в одинаковых почвенных, погодных и опытных условиях растения сои исследуемых сортов поразному сформировали на корневой системе симбиотический аппарат. Инфицирование бактериями в корневой системе растений осуществляется через корневые волоски, где происходит активное деление клеток коры корня вследствие заражения и формирование нароста – клубенька.

Штаммы применяемых микроорганизмов в опытах способствуют образованию большего количества крупных активных клубеньков.

У растений сои без обработок семян и растений число клубеньков было в среднем на 38,6% меньше, чем на вариантах с применением микробиологических препаратов. Масса клубеньков на корнях растений было большим на опытных вариантах у всех сортов в среднем на 36,2%. Посев неинокулированными семенами формировал на корневой системе симбиотический аппарат с аборигенными ризобактериями, активность фиксации атмосферного азота которого, характеризуется в 1,47 раза меньшей деятельностью, чем на опытных вариантах.

Сорта сои различаются по степени активности азотфиксации. Максимальная нитрогеназная активность наблюдалась у сортов Зуша и Осмонь на варианте с предпосевной инокуляцией и 2-мя фолиарными обработками. Бобово-ризобиальный симбиоз на сорте Орля был более продуктивным на варианте с применением 1-ой обработки по вегетации в совокупности с инокуляцией.

Симбиотические показатели растений в фазу цветения ВВСН 600 у сортов сои под влиянием микробиологических препаратов (2022-2024 гг.)

Варианты	Сорта				
	Лидер 1	Мезенка	Орлея	Зуша	Осмось
Количество клубеньков, шт/растение					
Не обработанные семена и растения (контроль)	33,2	29,2	31,4	36,8	40,1
Предпосевная обработка семян +1 листовая подкормка	52,8	49,7	54,4	61	54,6
Предпосевная обработка семян +2 листовые подкормки	54,5	45,2	59	61	63,3
Масса клубеньков, г/растение					
Не обработанные семена и растения (контроль)	0,49	0,34	0,28	0,38	0,36
Предпосевная обработка семян +1 листовая подкормка	0,57	0,57	0,51	0,51	0,62
Предпосевная обработка семян +2 листовые подкормки	0,55	0,55	0,57	0,6	0,71
Нитрогеназная активность, мкг N₂/мл/ч/1 растение					
Не обработанные семена и растения (контроль)	2,96	2,93	2,74	2,53	3,44
Предпосевная обработка семян +1 листовая подкормка	4,28	3,95	3,94	4,15	4,5
Предпосевная обработка семян +2 листовые подкормки	4,37	4,27	3,16	5,19	5,05

Если оценивать объекты исследований с позиции «группы спелости», то раннеспелые сорта в результате применения микробиологических препаратов по повышению нитрогеназной активности клубеньков относительно контроля (30,5-31,9%) уступали среднеспелым сортам (32,3-51,3%).

Активность симбиотического аппарата растений сои зависело от продолжительности вегетации растений. В обеих группах спелости выделялись сорта, имеющие большие значения исследуемых показателей симбиоза растений с бактериями – это индетерминантный раннеспелый сорт Осмось и полудетерминантный среднеранний сорт Зуша.

Применяемые комплексы микробиологических препаратов влияют на формирование и активность симбиотической системы на корнях сои, которую можно охарактеризовать как многокомпонентную, так как помимо доминантного микросимбионта (аборигенных соеспицифичных симбиотических бактерий) в ней принимают участие ассоциативные симбионты (вносимые искусственно в данном опыте). Ассоциативные микросимбионты оказывают выраженное позитивное влияние на эффективность симбиоза в целом.

Результатом работы симбиотического аппарата корневой системы азотфиксирующих растений является урожайность. Так, за 2022-2024 гг. в среднем по сортам урожайность зерна сои на контроле составила 2,33 т/га, а в 2025 г – 2,43 т/га. Применение микробиологических препаратов способствовало увеличению урожайности в зависимости от сорта и варианта опыта: в 2022-2024 гг. от 3,0 до 18,4% или от 0,07 до 0,41 т/га [10], а в 2025 г. – от 6,0 до 27,5% или от 0,18 до 0,56 т/га.

Корреляционная связь (табл. 3) между показателями функционирования симбиотической системы сои (числом, массой клубеньков и их нитрогеназной активностью) и урожайностью у сортов Лидер 1 ($r=0,841-0,967$), Мезенка ($r=0,915-0,999$) и Зуша ($r=0,751-0,955$) была сильной; у сорта Осмось ($r=0,536-0,641$) – средней.

Корреляционная связь между показателями функционирования симбиотической системы сои и урожайностью (2022-2024 гг.)

Вариации	Сорта				
	Лидер 1	Мезенка	Орля	Зуша	Осмонь
Между числом клубеньков и урожайностью	0,841	0,999	-0,933	0,955	0,536
Между массой клубеньков и урожайностью	0,967	0,994	-0,947	0,751	0,641
Между нитрогеназной активностью клубеньков и урожайностью	0,849	0,915	-0,345	0,764	0,567

Клубеньки образовывались как на естественном фоне (2022-2024 гг.), так и при инокуляции семян перед посевом соеспифичными симбиотическими бактериями (2025 г.). Аналогичные изменения в формировании и работе симбиотического аппарата на корнях растений сои при применении в технологии возделывания ассоциативных микроорганизмов отмечены и в 2025 году. На примере сортов Орля и Мезенка (табл. 4), растения демонстрируют повышение количества и массы клубеньков, а также их нитрогеназной активности в опытных вариантах с листовыми подкормками относительно контроля и варианта с предпосевной обработкой, где можно оценить, что штамм *Bradyrhizobium sp.* ОРВ 43 в составе биопрепарата Organit Rizo является конкурентоспособным и эффективным по отношению к нативному почвенному комплексу ризобиев в условиях темно-серой лесной почвы Орловской области.

Таблица 4

Сравнительная характеристика азотфиксирующей способности сортов сои Орля и Мезенка в фазу цветения ВВСН 600 (2025 г.)

Показатели		Количество клубеньков, шт/растение	Масса клубеньков, г/растение	Нитрогеназная активность, мкг N ₂ /мл/ч/1 растение
Орля	Контроль	20,8	0,32	0,79
	Предпосевная обработка семян	34,5	0,64	2,17
	Предпосевная обработка семян + 1 листовая подкормка	42,5	0,87	2,39
	Предпосевная обработка семян + 2 листовые подкормки	60,0	1,0	3,04
	НСР ₀₅	12,3	0,16	0,41
Мезенка	Контроль	22,5	0,23	1,21
	Предпосевная обработка семян	40,3	0,65	1,98
	Предпосевная обработка семян + 1 листовая подкормка	46,0	0,69	2,15
	Предпосевная обработка семян + 2 листовые подкормки	47,5	0,94	2,31
	НСР ₀₅	18,8	0,14	0,17

Таким образом, малозатратные манипуляции (инокуляция семян и фолиарные обработки вегетирующих растений ассоциативными микроорганизмами, входящими в состав препаратов, характеризующиеся небольшими дозами внесения и сравнительно небольшой ценой реализации в сравнении с традиционными удобрениями) позволяют оптимизировать азотное питание растений сои без дорогостоящих химических азотных удобрительных комплексов.

Заключение

Применение биологических факторов в технологии возделывания сои разных сортов позволили скоординировать работу симбиотического аппарата, сформированного на корневой системе растений, и способствовали улучшению условий симбиотрофного питания. Микроорганизмы и их метаболиты при комбинированном воздействии (инокуляция семян и листовые подкормки) катализировали активность симбиоза растений с соеспицифическими бактериями (нативными и искусственно внесенными) и оказали эффект на показатели деятельности азотфиксирующей системы на корнях растений сои.

Проведенные исследования позволили позиционировать биопрепараты в комплексном применении (Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux) как способствующие увеличению симбиотической нагрузки на растения сои, которое выражается в повышении количества, массы азотфиксирующих клубеньков и их нитрогеназной активности в 1,36-2,88; 1,12-4,08; 1,15-3,84 раза соответственно в зависимости от сорта, состава баковой смеси, способа и дозы применения. Корреляционная связь между показателями функционирования симбиотической системы сои и урожайностью была сильной у раннего с тенденцией к среднераннему детерминантного сорта Лидер 1, у раннего индетерминантного сорта Мезенка и среднераннего одностебельного полудетерминантного сорта Зуша.

Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания по тематикам № FGZZ-2022-0004 и № FGZZ-2025-0013.

Литература

1. Парахин Н.В., Осин А.А., Донская М.В. Повышение продуктивности и качества семян сои за счет интенсификации азотфиксации. // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – Т. 49, № 2. – С. 118-122. – DOI 10.15389/agrobiology.2014.2.118rus. - EDN SBJJUH.
2. Гурьев Г.П., Донская М.В., Донской М.М. [и др.] Влияние микробиологических препаратов и предшественника на формирование симбиотического аппарата, урожайность и агрохимические показатели почвы при возделывании чечевицы, нута и чины. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2024. – № 1(49). – С. 10-18. – DOI 10.24412/2309-348X-2024-1-10-18. – EDN LIWQUY.
3. Патент № 2838661 С1 Российская Федерация, МПК А01N 63/25, А01N 63/00. Полифункциональный биопрепарат на основе штамма ризобактерий *Paenibacillus polymyxa* с комплексом хозяйственно полезных свойств для защиты растений от фитопатогенов, повышения урожайности сельскохозяйственных культур, улучшения посевных качеств семян и стимуляции биологической активности ризосферы: заявл. 11.06.2024; опубл. 22.04.2025 / И.А. Каменева, А.И. Якубовская, С.Ф. Абдурашитов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма". – EDN XSRWWE.
4. Лоскутов С.И., Пухальский Я.В., Осипов А.И. [и др.]. Симбиотическая активность люпина при добавлении зоогумуса в субстрат. // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 6. – С. 4-9. – DOI 10.31857/S2500208224060014. – EDN WVFHOA.
5. Каменева И.А., Якубовская А.И., Чайковская Л.А. [и др.]. Некоторые агрономически ценные и технологические свойства штамма *Paenibacillus polymyxa* - биоагента микробного препарата. // Таврический вестник аграрной науки. – 2025. – № 3(43). – С. 130-141. – DOI 10.5281/zenodo.17276324. – EDN TLGBZJ.
6. Зубарева К.Ю., Хрыкина Т.А., Варламов Н.В. Использование микробиологических препаратов в качестве стимуляторов биологической активности ризосферы. // Устойчивое сельское хозяйство: технологии будущего: Материалы Всероссийской Школы-конференции для молодых ученых в рамках деятельности НЦМУ «Центр современной селекции сельскохозяйственных растений», Краснодар, 22–23 апреля 2026 года. – Воронеж: Строки, 2026. – С. 124-128. – DOI 10.33775/conf-2026-124-128. – EDN QLSQNN.
7. Цавкелова Е.Л., Климова С.Ю., Чердынцева Т.Л., Нетрусов Л.И. Микроорганизмы-продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение (обзор). // Прикладная биохимия и микробиология. – 2006. – Т. 42. – № 2. – С. 133–143.

8. Васильева Е.Н., Ахтемова Г.А., Афонин А.М. [и др.] Культивируемые эндофитные бактерии стеблей и листьев гороха посевного (*Pisum sativum* L.). // Экологическая генетика. – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 169-184. – DOI 10.17816/ecogen17915. – EDN AXAHYA.
9. Тихонович И.А., Завалин А.А. Комплексное использование микробных препаратов и удобрений при развитии природоподобных технологий в земледелии. // Вестник Российской академии наук. – 2025. – № 6. – С. 59-66. – DOI 10.7868/S3034520025060073. – EDN FAUMKS.
10. Зотиков В. И., Зубарева К.Ю., Хрыкина Т.А. Биологизированные агроприемы в технологии возделывания сои. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2025. – № 1(53). – С. 14-22. – DOI 10.24412/2309-348X-2025-1-14-22. – EDN GGHCWX.

References

1. Parakhin N. V., Osin A. A., Donskaya M. V. Increasing the productivity and quality of soybean seeds by intensifying nitrogen fixation. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2014, Vol. 49, no. 2, pp.118-122, DOI 10.15389/agrobiology.2014.2.118rus. - EDN SBJJUH.
2. Gur'ev G. P., Donskaya M. V., Donskoi M. M. [et al.]. The influence of microbiological preparations and precursors on the formation of the symbiotic apparatus, crop yield and agrochemical parameters of the soil during the cultivation of lentils, chickpeas and peas. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2024, no. 1(49), pp.10-18, DOI 10.24412/2309-348X-2024-1-10-18, EDN LIWQUY.
3. Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Abdurashitov S. F. [et al.] Patent No. 2838661 C1 Russian Federation, IPC A01N 63/25, A01N 63/00. A multifunctional biopreparation based on the rhizobacteria strain *Paenibacillus polymyxa* with a range of economically beneficial properties for protecting plants from phytopathogens, increasing crop yields, improving seed sowing qualities, and stimulating the biological activity of the rhizosphere: declared 11.06.2024: published 22.04.2025; applicant Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Agriculture of Crimea", EDN XSRWWE.
4. Loskutov S. I., Pukhal'skii Ya. V., Osipov A. I. [et al.] Symbiotic activity of lupine when adding zoohumus to the substrate. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2024, no. 6, pp.4-9, DOI 10.31857/S2500208224060014, EDN WVFHOA.
5. Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Chaikovskaya L. A. [et al.] Some agronomically valuable and technological properties of the *Paenibacillus polymyxa* strain, a microbial bioagent. *Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki*, 2025, no. 3(43), pp.130-141, DOI 10.5281/zenodo.17276324, EDN TLGBZJ.
6. Zubareva K. Yu., Khrykina T. A., Varlamov N. V. The use of microbiological preparations as stimulators of biological activity of the rhizosphere. Sustainable agriculture: technologies of the future: Materials of the All-Russian School-conference for Young scientists within the framework of the activities of the NCMU "Center for Modern Breeding of Agricultural Plants", Krasnodar, 22-23.04 2026, Voronezh: Stroki, 2026, pp.124-128, DOI 10.33775/conf-2026-124-128, EDN QLSQNN.
7. Tsavkelova E.L., Klimova S.Yu., Cherdyntseva T.L., Netrusov L.I. Microorganisms producing plant growth stimulants and their practical application (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2006, Vol. 42, no. 2, С. 133-143.
8. Vasil'eva E. N., Akhtemova G. A., Afonin A. M. [et al.] Cultivated endophytic bacteria of stems and leaves of seed peas (*Pisum sativum* L.). *Ekologicheskaya genetika*, 2020, Vol. 18, no. 2, pp.169-184, DOI 10.17816/ecogen17915, EDN AXAHYA.
9. Tikhonovich I. A., Zavalin A. A. Integrated use of microbial preparations and fertilizers in the development of nature-like technologies in agriculture. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2025, no. 6, pp.59-66, DOI 10.7868/S3034520025060073, EDN FAUMKS.
10. Zotikov V. I., Zubareva K. Yu., Khrykina T. A. Biologized agricultural practices in soybean cultivation technology. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2025, no. 1(53), pp.14-22, DOI 10.24412/2309-348X-2025-1-14-22, EDN GGHCWX.