

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ И НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК КОМПЛЕКСНЫМ МИКРОУДОБРЕНИЕМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИМБИОТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ СОИ

Т.В. ЛЕУХИНА, научный сотрудник¹, аспирант², ORCID ID: 0009-0009-7039-378X
E-mail: tanya_leukhina@mail.ru

¹ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

²ФГБОУ ВО ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.В. ПАРАХИНА

В статье изложены результаты исследований 2023-2024 гг. по изучению влияния инокуляции и некорневых подкормок комплексным микроудобрением на эффективность симбиотической деятельности и продуктивность сортов сои. Материалом исследования служили сорта сои селекции ФНЦ ЗБК: Слава, Орля, Мезенка и Зуша.

По данным исследований установлено, что агроприемы активизировали симбиотическую деятельность растений: по сравнению с контрольным вариантом предпосевная обработка повышала количество азотфиксирующих клубеньков на корневой системе у всех исследуемых сортов на 20,1-44,7% и сухую массу клубеньков на 6,2-23,7%, способствовала росту нитрогеназной активности на 0,11-1,32 мкг N₂/мл/ч/1 растение, совместное применение инокуляции и некорневой подкормки увеличивало соответствующие показатели у всех сортов на 35,7-80,5%, 10,8-55,9% и на 1,77-2,76 мкг N₂/мл/ч/1 растение. Под влиянием инокуляции микробиологическим препаратом Хайкоут Супер Соя отмечался прирост сухой биомассы растений в фазу цветения в среднем по сортам на 6,5%, некорневые подкормки комплексным микроудобрением и стимулятором роста и развития растений «Sipny Mix» Бобовые вегетация приводили к возрастанию массы сухого вещества на 10,8%. Высокая эффективность комплексной обработки микробиологическим препаратом и микроудобрением подтверждалась анализом элементов структуры урожая: по отношению к контролю масса семян с растения у всех сортов возрастала на 5,5-15,4%, масса 1000 семян повышалась на 2,28-3,48 г. Необходимо отметить, что у сорта Зуша совместное применение обработок оказало активное воздействие не на все изучаемые показатели: количество клубеньков, масса семян с растения и масса 1000 семян были меньше или на уровне варианта с инокуляцией. Наибольшее влияние некорневой подкормки на урожайность выявлено только на сорте Слава (прибавка 0,26 т/га). Зависимость урожайности от инокуляции у сортов сои была не существенной, кроме сорта Зуша в 2023 году и сорта Слава в 2024 году, что очевидно связано с заселением опытного поля спонтанной ризобияльной микрофлорой.

Ключевые слова: соя, сорт, инокуляция, некорневые подкормки, симбиотические признаки, урожайность.

Для цитирования: Леухина Т.В. Влияние инокуляции и некорневых подкормок комплексным микроудобрением на эффективность симбиотической деятельности и продуктивность сортов сои. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 4(52):87-95. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-87-95

THE EFFECT OF INOCULATION AND FOLIAR FERTILIZATION WITH COMPLEX MICRONUTRIENTS ON THE EFFECTIVENESS OF SYMBIOTIC ACTIVITY AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN VARIETIES

T.V. Leukhina^{1,2}

¹FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS

²FSBEE HE N.V. PARAKHIN OREL STATE AGRARIAN UNIVERSITY

Abstract: *The article presents the results of research in 2023-2024 to study the effect of inoculation and foliar fertilization with complex micronutrients on the effectiveness of symbiotic activity and productivity of soybean varieties. The research material was soybean varieties of the FSC LGC breeding: Slava, Orleya, Mezenka and Zusha.*

According to the research data, it was established that agricultural practices activated the symbiotic activity of plants: compared to the control variant, pre-sowing treatment increased the number of nitrogen-fixing nodules on the root system of all studied varieties by 20.1-44.7% and the dry weight of nodules by 6.2-23.7%, contributed to the growth of nitrogenase activity by 0.11-1.32 mkg N₂/ml/h/1 plant, the combined use of inoculation and foliar feeding increased the corresponding indicators in all varieties by 35.7-80.5%, 10.8-55.9% and by 1.77-2.76 mkg N₂/ml/h/1 plant. Under the influence of inoculation with the microbiological preparation Hykout Super Soybean there was an increase in dry biomass of plants in the flowering phase on average by 6.5%, foliar feeding with complex microfertilizer and plant growth and development stimulant 'Sunny Mix' Legumes vegetation led to an increase in dry matter mass by 10.8%. High efficiency of complex treatment with microbiological preparation and microfertilizer was confirmed by analysis of yield structure elements: in relation to the control, seed weight per plant in all varieties increased by 5.5-15.4%, weight of 1000 seeds increased by 2.28-3.48 g. It should be noted that in Zusha variety the joint application of treatments had an active effect not on all the studied indicators: the number of nodules, seed weight per plant and 1000 seed weight were less or at the level of the variant with inoculation. The greatest effect of foliar feeding on yield was found only on Slava variety (0.26 tonnes/ha increase). The dependence of yield on inoculation in soybean varieties was not significant except for Zusha variety in 2023 and Slava variety in 2024, which is obviously due to the settlement of the experimental field by spontaneous rhizobial microflora.

Keywords: soybeans, variety, inoculation, foliar top dressing, symbiotic signs, yield.

Введение

Биологическая фиксация азота является одним из важнейших процессов биогеохимического цикла азота – ключевого компонента, необходимого для жизни растений, являющегося составной частью аминокислот, белков, ферментов, а также хлорофилла, витаминов, растительных протеинов и других органических веществ, необходимых для полноценного роста и развития растительных организмов. Азотфиксация способствует преобразованию атмосферного азота (N₂) в аммонийную форму NH₄⁺, доступную для использования растениями [1-5]. Этот процесс характерен в основном для бобовых растений в сельскохозяйственных системах, которые обладают уникальной способностью образовывать симбиотические взаимоотношения с азотфиксирующими почвенными бактериями, объединёнными под названием ризобии, и обуславливает высокий рейтинг бобовых культур в современных технологиях растениеводства, способствующих восстановлению плодородия почвы и сокращающих применение азотных удобрений [6-8].

Специфичными для сои являются клубеньковые бактерии *Bradyrhizobium japonicum*. Использование микробиологических препаратов (инокулянтов), предназначенных для обработки семян сои, способствует образованию клубеньков, что, в свою очередь, улучшает усвоение питательных веществ. По данным ряда ученых инокуляция семян сои штаммами клубеньковых бактерий повышает продуктивность на 10-25 %, содержания белка в семенах на 2-11% [9-11].

Микроэлементы оказывают непосредственное и косвенное воздействие на процесс азотфиксации – одни микроэлементы являются составными частями азотфиксирующих ферментов, в то время как другие способствуют созданию оптимальных условий для активации процесса фиксации азота воздуха [12]. Некорневые подкормки в настоящее время являются стандартным технологическим приемом, способствующим более полному усвоению растениями основных элементов питания и обеспечивающим их быструю транспортировку

непосредственно к пунктам их основного потребления: точкам роста, листьям, плодам, активизирующим процесс фотосинтеза, благодаря чему обеспечивается более активное поступление питательных элементов в клубеньки, за счёт чего усиливается фиксация азота. Некорневое питание растений является одним из наиболее эффективных способов получения стабильных урожаев хорошего потребительского качества за счёт более интенсивного усвоения элементов питания и улучшения устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды [13].

Цель исследований – изучить влияние инокуляции и некорневых подкормок комплексным микроудобрением на эффективность симбиотической деятельности и продуктивность сортов сои.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2023-2024 годах на опытном поле севооборота Селекционно-семеноводческого центра сои ФНЦ ЗБК. Материалом для исследования являлись сорта сои, созданные в ФНЦ ЗБК: Слава (сорт индетерминантного типа развития), Орлея (детерминантного типа развития, включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2024 г. по Центральному (3) и Центрально-Чернозёмному (5) регионам), Мезенка и Зуша (индетерминантного и полудетерминантного типа развития соответственно, в 2016 и 2015 гг. внесены в Госреестр РФ по Центрально-Чернозёмному (5) региону).

Предшественник – чистый пар. Почва опытного участка тёмно-серая лесная, среднесуглинистая, среднегумусовая (4,0-6,0%), слабокислая (рН водной вытяжки 5,1-5,5).

Полевой опыт закладывался согласно методике Б.А. Доспехова (1985 г) на делянках с учетной площадью 10 м². Метод размещения вариантов – рендомизированный. Норма высева – 600 тыс. всхожих семян на 1 гектар. Посев осуществлялся широкорядным способом (с шириной междурядий 45 см) сеялкой Клен-1,5 во вторую декаду мая.

Схема опыта:

Фактор А – сорт: Слава, Орлея, Мезенка, Зуша.

Фактор В – технологические приемы:

1. предпосевная обработка семян (инокулянт Хайкоут Супер Соя (1,42 л/т) + питательный раствор Хайкоут Супер Экстендер (1,42 л/т) (в день посева);

2. предпосевная обработка семян + две листовые подкормки комплексным микроудобрением «Sunny Mix» Бобовые вегетация в фазу 2 тройчатых листьев (0,5 л/га) и в фазу начало бутонизации (1 л/га) (через 12 дней).

Хайкоут Супер Соя – микробиологический препарат клубеньковой бактерии *Bradyrhizobium japonicum*, содержащий штамм ризобий 532С (титр 10 млрд/1 мл).

«Sunny Mix» Бобовые вегетация – комплексное микроудобрение и стимулятор роста и развития растений, сочетающее комплекс макро- и микроэлементов в хелатной форме, натуральные аминокислоты и природные органические кислоты (г/л): N (55,1), P₂O₅ (20,2), K₂O (13,7), B (3,4), Zn (1,6), S (6,8), Mo (0,2) Co (0,02), MgO (2,5), Mn (5,8), CaO (17,5), Fe (2,0), Cu (3,8), органические кислоты – 25 г/л, аминокислоты – 25 г/л, стимуляторы роста растений – 10 г/л, прилипатель, сурфактанты, гумектанты.

Учёты и наблюдения осуществлялись согласно методическим рекомендациям: изучение симбиотической деятельности в соответствии с «Методы изучения биологической фиксации азота воздуха» (Посыпанов Г.С, 1991.), анализ активности нитрогеназы осуществлялся на портативном газовом хроматографе ФГХ-1; учет урожайности согласно «Методики агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами» (Лукомец В.М., 2022).

Перед уборкой в фазе созревания с делянок был проведен отбор снопового материала для структурного анализа (Лукомец В.М., 2022). Уборку урожая зерна сои проводили комбайном ZURN 150 путем сплошного обмолота. Экспериментальные данные были обработаны статистическим методом с целью выявления существенных различий по методике полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) Б.А. Доспехова (2011).

Результаты и их обсуждение

В 2023-2024 гг. исследовано влияние инокуляции микробиологическим препаратом Хайкоут Супер Соя и некорневых подкормок комплексным микроудобрением и стимулятором роста и развития растений «Sunny Mix» Бобовые вегетация на сухую массу растений сои в фазу цветения (рис. 1). Применение высокоэффективных штаммов клубеньковых бактерий способствовало увеличению сухой биомассы растений в среднем по сортам на 6,5%. Подкормка микроудобрением приводила к возрастанию массы сухого вещества от 4,7% до 16,3%, при этом, максимальные показатели были отмечены у сортов Слава (8,70 г на 1 растение) и Мезенка (9,33 г на 1 растение).

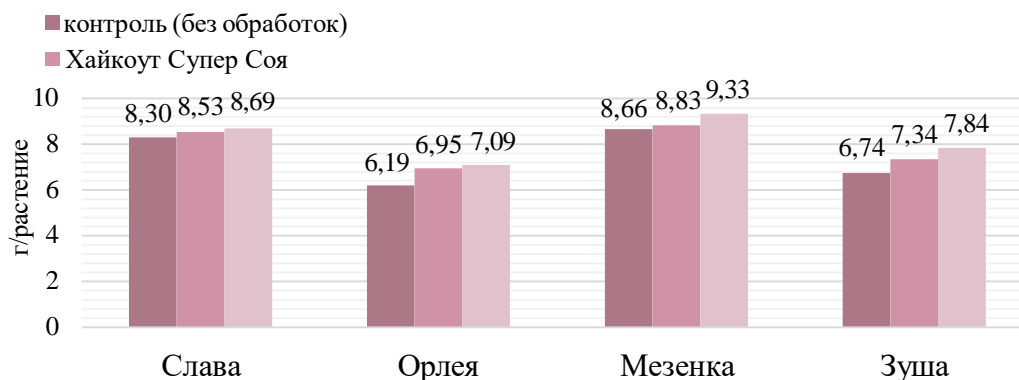


Рис. 1. Сухая масса растений сои в фазу цветения в зависимости от инокуляции и некорневых подкормок (среднее за 2023-2024 гг.)

Предпосевная обработка семян жидким инокулянтом, содержащим штамм специализированной соевой бактерии *Bradyrhizobium japonicum*, повышала количество клубеньков на корневой системе у всех исследуемых сортов сои в среднем от 20,6% (Мезенка) до 57,5% (Орлея) и сухую массу клубеньков от 6,2% (Слава) до 23,7% (Зуша), в среднем за 2023-2024 годы исследования в фазу цветения (табл. 1).

Таблица 1

Симбиотические показатели растений сои в фазу цветения под влиянием инокуляции и некорневых подкормок

Вариант	Количество клубеньков, шт.			Сухая масса клубеньков, мг			Количество фиксированного азота, мкг N ₂ /мл/час /1 растение		
	2023	2024	\bar{x}	2023	2024	\bar{x}	2023	2024	\bar{x}
Слава									
Контроль (без обработок)	21,00	31,60	26,30	104,75	129,38	117,07	5,427	4,281	4,854
Хайкоут Супер Соя	37,80	38,30	38,05	116,00	132,69	124,35	5,896	4,786	5,341
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	33,50	44,30	38,90	120,17	139,33	129,75	7,929	7,304	7,617
Орлея									
Контроль (без обработок)	15,80	19,50	17,65	125,74	60,49	93,12	3,809	2,617	3,213
Хайкоут Супер Соя	29,60	26,00	27,80	117,87	88,72	103,30	5,762	3,311	4,537
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	34,30	29,40	31,85	201,32	89,02	145,17	8,068	3,410	5,739
Мезенка									
Контроль (без обработок)	21,80	34,00	27,90	140,82	119,81	130,32	5,469	5,003	5,236
Хайкоут Супер Соя	27,50	39,80	33,65	150,49	132,74	141,62	5,924	4,766	5,345
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	35,00	44,90	39,95	170,85	138,88	154,87	6,920	9,012	7,966
Зуша									
Контроль (без обработок)	19,10	21,20	20,15	107,52	77,81	92,67	4,013	2,880	3,447
Хайкоут Супер Соя	31,90	26,30	29,10	140,56	88,70	114,63	5,384	3,478	4,431
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	28,20	26,50	27,35	151,35	93,12	122,24	6,771	3,652	5,212
НСР ₀₅	2,80	3,28		15,05	13,41		0,97	0,56	

Было установлено, что под действием некорневых подкормок комплексным микроудобрением, имеющим в составе микроэлементы: молибден, входящий в состав нитрогеназы – центрального фермента процесса азотфиксации, кобальт, стимулирующий фиксацию азота бактериями, магний, при недостатке которого тормозится размножение клубеньковых бактерий, сера и железо, выполняющие важную роль в синтезе леггемоглобина, количество клубеньков и их масса росли от 43,2% (Мезенка) до 80,5% (Орлея), от 10,8% (Слава) до 55,9% (Орлея) в среднем по сортам за 2023-2024 годы. В среднем по вариантам наиболее высокий показатель количества клубеньков был зафиксирован у сорта Слава, сухой массы клубеньков у сорта Мезенка.

Необходимо отметить, что применение микробиологического препарата в предпосевной обработке семян увеличивало нитрогеназную активность клубеньков у всех сортов на 0,11-1,32 мкг N₂/мл/ч/1 растение в среднем за 2 года исследования, несмотря на незначительное превышение контроля над вариантом с инокуляцией у сорта Мезенка в 2024 году. Совместное применение инокуляции с некорневыми подкормками способствовало росту активности нитрогеназы на 1,77-2,76 мкг N₂/мл/ч/1 растение.

В 2023 году выявлена корреляция на среднем и высоком уровне между активностью нитрогеназы, сухой массой и количеством клубеньков $r=0,60-0,76$, в 2024 году между количеством клубеньков, их массой и нитрогеназной активностью – на высоком уровне $r=0,80-0,94$. Кроме того, в 2023 г. отмечен средний уровень зависимости между нитрогеназной активностью и сухой массой растения сои $r=0,53$.

Высокую эффективность микробиологического препарата и некорневых подкормок подтверждает анализ элементов структуры урожая в фазу полной спелости. Масса семян с растения сои за 2 года исследований в варианте с инокуляцией интенсивнее увеличивалась у сортов Орлея и Зуша на 1,65 г и 1,50 г, или в среднем на 14,5% (табл. 2). Некорневые подкормки растений позволили значительно повысить массу семян с растения у всех сортов на 5,5-15,4%. Максимальный показатель был отмечен при обработке микроудобрением у сортов Слава и Орлея (12,98 г и 13,40 г на растение).

Таблица 2

Семенная продуктивность растений и масса 1000 семян сои под влиянием инокуляции и некорневых подкормок

Вариант	Масса семян с растения, г			Масса 1000 семян, г		
	2023	2024	\bar{x}	2023	2024	\bar{x}
Слава						
Контроль (без обработок)	11,45	12,32	11,88	168,43	171,07	169,75
Хайкоут Супер Соя	11,58	12,88	12,23	168,52	171,62	170,07
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	12,72	13,24	12,98	169,38	174,67	172,03
Орлея						
Контроль (без обработок)	10,87	12,35	11,61	169,22	160,85	165,04
Хайкоут Супер Соя	13,81	12,71	13,26	170,71	161,00	165,86
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	13,79	13,00	13,40	170,45	164,69	167,57
Мезенка						
Контроль (без обработок)	15,09	9,32	12,21	150,77	156,31	153,54
Хайкоут Супер Соя	15,16	9,85	12,50	149,55	156,39	152,97
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	15,12	10,64	12,88	152,94	159,45	156,20
Зуша						
Контроль (без обработок)	11,80	8,50	10,15	165,09	158,97	162,03
Хайкоут Супер Соя	13,86	9,44	11,65	168,99	162,21	165,60
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	13,16	9,77	11,46	167,91	163,30	165,61
НСР ₀₅	0,80	0,54		2,28	1,68	

Наибольшего значения масса 1000 семян в среднем за 2023-2024 гг. достигала при комплексе обработок: если на контроле она варьировала от 153,54 г у сорта Мезенка до 169,75 г у сорта Слава, то в варианте с предпосевной обработкой и применением микроудобрений варьировала от 156,20 г до 172,03 г. По отношению к контролю на варианте с применением инокулянта Хайкоут Супер Соя этот показатель находился на уровне варианта с обработками растений сои микроудобрением «Sunny Mix» Бобовые вегетация. Сорт Мезенка реакцию на инокуляцию не проявил. В 2023 году установлена корреляция на среднем уровне между массой семян с растения и массой 1000 семян $r=0,69$.

По данным исследований в среднем за 2 года при обработке семян активным штаммом ризобий 532С и применении некорневых подкормок комплексным микроудобрением наибольшая урожайность была отмечена у сорта Слава и составила 3,27 т/га, превзойдя вариант с предпосевной обработкой и контроль на 5,8% и 8,6% соответственно (табл. 3). Вариант с инокуляцией не оказывал существенного влияния на урожайность сои, кроме сорта Зуша в 2023 году и сорта Слава в 2024 году, что очевидно связано с заселением опытного поля спонтанной ризобиальной микрофлорой.

Таблица 3

Урожайность сои под влиянием инокуляции и некорневых подкормок, т/га

Вариант	2023	2024	\bar{x}
Слава			
Контроль (без обработок)	2,99	3,03	3,01
Хайкоут Супер Соя	2,92	3,25	3,09
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	3,22	3,32	3,27
Орля			
Контроль (без обработок)	2,72	3,11	2,92
Хайкоут Супер Соя	2,75	3,26	3,00
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	2,77	3,41	3,09
Мезенка			
Контроль (без обработок)	2,66	3,00	2,83
Хайкоут Супер Соя	2,76	3,05	2,91
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	2,76	3,14	2,95
Зуша			
Контроль (без обработок)	2,47	2,88	2,68
Хайкоут Супер Соя	2,70	2,93	2,82
Хайкоут Супер Соя + «Sunny Mix» Бобовые вегетация	2,67	3,02	2,85
НСР ₀₅	0,21	0,04	

В среднем по сортам в контрольном варианте урожайность составила – 2,86 т/га, в варианте с комплексом обработок – 3,04 т/га. В 2024 году рост урожайности у сортов сои происходил за счет увеличения массы семян на растении, корреляционная зависимость в данном случае высокая $r=0,86$. Проведенный корреляционный анализ показал средний уровень зависимости урожайности от накопления сухой массы растений сои, который составил $r=0,60$.

Заключение

По результатам исследований 2023-2024 годов влияния инокуляции микробиологическим препаратом Хайкоут Супер Соя и некорневых подкормок комплексным микроудобрением и стимулятором роста и развития растений «Sunny Mix» Бобовые вегетация на эффективность симбиотической деятельности и продуктивность сортов сои установлено, что предпосевная обработка инокулянтom повышала количество клубеньков на корневой системе и сухую массу клубеньков у сорта Слава на 44,7% и 6,2% соответственно, у сорта Орля на 57,5% и 10,9%, у сорта Мезенка на 20,6% и 6,7%, у сорта Зуша на 44,4% и 23,7%, способствовала росту нитрогеназной активности у всех сортов в среднем на 0,11-1,32 мкг N₂/мл/ч/1 растение, а совместное применение инокуляции и некорневой подкормки увеличивало соответствующие показатели у сорта Слава на 47,9% и 10,8%, у сорта Орля на 80,5% и 55,9%, у сорта Мезенка на 43,2% и 18,8%, у сорта Зуша на 35,7% и 31,9%, нитрогеназную активность у всех сортов в среднем на 1,77-2,76 мкг N₂/мл/ч/1 растение.

Отмечался прирост сухой биомассы растений в фазу цветения в среднем по сортам на 6,5% в варианте с инокуляцией, некорневые подкормки микроудобрением приводили к возрастанию массы сухого вещества на 10,8%. Максимальные значения данного показателя зафиксированы у сортов Слава и Мезенка (8,70 и 9,33 г на 1 растение соответственно).

Высокую эффективность комплексной обработки микробиологическим препаратом и микроудобрением подтверждает анализ элементов структуры урожая: масса семян с растения у сортов Мезенка, Слава и Орлея возростала на 5,5-15,4%, масса 1000 семян повышалась от 2,28 г у сорта Слава до 3,48 г у сорта Зуша по отношению к контролю. Необходимо отметить, что у сорта Зуша совместное применение обработок оказало активное воздействие не на все изучаемые показатели: количество клубеньков, масса семян с растения и масса 1000 семян были меньше или на уровне варианта с инокуляцией. Выявлено, что наибольшее влияние некорневой подкормки на урожайность выявлено только на сорте Слава (прибавка 0,26 т/га).

Зависимость урожайности от инокуляции у сортов сои была не существенной, кроме сорта Зуша в 2023 году и сорта Слава в 2024 году, что очевидно связано с заселением опытного поля спонтанной ризобияльной микрофлорой.

В 2023 году выявлена корреляция на среднем и высоком уровне между активностью нитрогеназы, сухой массой и количеством клубеньков $r=0,60-0,76$, в 2024 году между количеством клубеньков, их массой и нитрогеназной активностью – на высоком уровне $r=0,80-0,94$. В 2024 году урожайность сортов сои росла за счет увеличения массы семян на растении. В данном случае наблюдается высокая корреляционная зависимость, достигающая значения $r=0,86$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по Гранту 075-15-2021-546.

Литература

1. Осипов А.И. Биологический круговорот азота атмосферы // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 42. – С. 97-103.
2. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 28-32.
3. Mus F., Crook M.B., Garcia K., Garcia Costas A. et al. Symbiotic Nitrogen Fixation and the Challenges to Its Extension to Nonlegumes // Applied and environmental microbiology. – 2016. – № 82(13). – Pp. 3698-3710. DOI: 10.1128/AEM.01055-16.
4. Kebede E. Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2021. – Vol. 5. – Pp. 1-18. DOI: 10.3389/FSUFS.2021.767998
5. Посыпанов Г.С., Кобозева Т.П., Тазин И.И. и др. Современные методы определения количества фиксированного азота воздуха в полевых условиях. // Известия ТСХА. – 2006. – № 2. – С. 129-134.
6. Головина Е.В., Леухина О.В. Экзогенная регуляция симбиотической деятельности новых сортов сои в условиях ЦЧР. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2024. – №2(50). – С. 30-39. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-2-30-39
7. Хворова Л.А., Топаж А.Г., Абрамова А.В., Неупокоева К.Г. Подходы к описанию симбиотической азотфиксации. Часть 1. Анализ и выделение перечня факторов с оценкой их приоритетности // Известия Алтайского государственного университета. – 2015. – № 1-1(85). – С. 187-191. DOI 10.14258/izvasu(2015)1.1-33.
8. Кошеляев В.В., Шабышев Н.В., Кошеляева И.П. Особенности симбиотической деятельности растений гороха в зависимости от различных уровней минерального питания. // Нива Поволжья. – 2023. – № 1 (65). – 1006 с. DOI 10.36461/NP.2023.65.1.010

9. Васильчиков А.Г., Акулов А.С. Поиск высокоэффективных инокулянтов для перспективных сортообразцов сои. // Зернобобовые и крупяные культуры – 2019. – № 4 (32). – С. 66-71. DOI:10.24411/2300-348X-2019-11134.
10. Головина Е.В., Гришечкин В.В. Влияние инокуляции и гумата калия на физиологические и биохимические показатели новых сортов сои. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 1 (13). – С. 45-52.
11. Магомедов Р.Д., Рябуха С.С., Шелякин В.А. и др. Влияние инокуляции штаммами *Bradyrhizobium japonicum* на содержание белка и масла в семенах сои // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2012. – № 2 (151-152). – С. 175-178.
12. Кабылбекова Г.К., Дидоренко С.В., Кудайбергенов М.С. и др. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами на урожайность сорта сои Жансая в условиях Алматинской области. // Генофонд и селекция растений : Доклады и сообщения V Международной конференции. – Новосибирск: Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 2020. – С. 115-118. – DOI 10.18699/GPB2020-30.
13. Полухин А.А., Зубарева К.Ю. Развитие органического земледелия в Российской Федерации и рентабельность производства органической сои // Достижения науки и техники. – 2023. – Т. 37. – № 6. – С. 44-49. DOI: 10.53859/02352451-2023-37-6-44.
14. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Семеренко С.А. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами. // 3-е издание, переработанное и дополненное. – Краснодар: ООО "Просвещение-Юг", – 2022. – 538 с.

References

1. Osipov A.I. Biological nitrogen cycle of the atmosphere. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016, no. 42, pp. 97-103. (In Russian)
2. Tikhonovich. I.A., Zavalin A.A. Prospects of using nitrogen-fixing phytostimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agroecological situation in the Russian Federation. *Plodorodie*. 2016, no. 5, pp. 28-32. (In Russian)
3. Mus F., Crook M.B., Garcia K., Garcia Costas A. et al. Symbiotic Nitrogen Fixation and the Challenges to Its Extension to Nonlegumes // *Applied and environmental microbiology*, 2016, No. 82(13), pp. 3698-3710. DOI: 10.1128/AEM.01055-16.
4. Kebede E. Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems // *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2021, Vol. 5, Pp. 1-18. DOI: 10.3389/FSUFS.2021.767998
5. Posypanov G.S., Kobozeva T.P., Tazin I.I. et al. Modern methods for determining the amount of fixed nitrogen in the air in the field. *Izvestiya TSKhA*, 2006, no. 2, pp. 129-134. (In Russian)
6. Golovina E.V., Leukhina O.V. Exogenous regulation of symbiotic activity of new soybean varieties in the conditions of the Central Asian Republic. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2024, no.2(50), pp. 30-39. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-2-30-39 (In Russian)
7. Khvorova L.A., Topazh A.G., Abramova A.V., Neupokoeva K.G. Approaches to the description of symbiotic nitrogen fixation. Part 1. Analysis and allocation of a list of factors with an assessment of their priority. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015, no. 1-1(85), pp. 187-191. DOI 10.14258/izvasu(2015)1.1-33. (In Russian)
8. Koshelev V.V., Shabyshev N.V., Kosheleva I.P. Features of the symbiotic activity of pea plants depending on different levels of mineral nutrition. *Niva Povolzh'ya*, 2023, no. 1(65), 1006 p. DOI 10.36461/NP.2023.65.1.010 (In Russian)
9. Vasilchikov A.G., Akulov A.S. Search for highly effective inoculants for promising soybean varieties. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2019, no. 4(32), pp. 66-71. DOI:10.24411/2300-348X-2019-11134. (In Russian)
10. Golovina E.V., Grishechkin V.V. Influence of intoxication and potassium humate on physiological and biochemical parameters of new soybean varieties. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2015, no. 1(13), pp. 45-52. (In Russian)

11. Magomedov R.D., S. Ryabukha.S., Shelyakin V.A. and others. The effect of intoxication by bradyrhizobium japonicum strains on the protein and oil content in soybean seeds. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*, 2012, no. 2(151-152), pp. 175-178. (In Russian)
12. Kabyzbekova G.K., Didorenko S.V., Kudaibergenov M.S. and others. The influence of pre-sowing seed treatment with trace elements on the yield of soybean varieties of Zhansai in the conditions of the Almaty region . Gene pool and plant breeding : Reports and communications of the V International Conference. Novosibirsk: Federal Research Center of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, pp. 115-118, DOI 10.18699/GPB2020-30. (In Russian)
13. Polukhin A.A. Zubareva K.Yu. The development of organic farming in the Russian Federation and the profitability of organic soybean production. *Dostizheniya nauki i tekhniki*, 2023, Vol. 37, no. 6, pp. 44-49. DOI: 10.53859/02352451-2023-37-6-44. (In Russian)
14. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Semerenko S.A. Methodology of agrotechnical research in experiments with basic field crops. 3rd edition, revised and supplemented. Krasnodar : LLC "Prosveshchenie-Yug", 2022, 538 p. (In Russian)