

МУЛЬО ПАНОЛУИСА ФРЕДДИ ЭДУАРДО

**ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ
СОИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РФ**

Специальность 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Диссертационная работа выполнена в агробиологическом департаменте аграрно-технологического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Научный руководитель: **Романова Елена Валерьевна,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент агробиотехнологического департамента, аграрно-технологического института РУДН

Официальные оппоненты: **Белопухов Сергей Леонидович,** доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры химии института агробиотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева»

Белышкина Марина Евгеньевна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории инновационных технологий и оборудования для переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится « 09 » октября 2026 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета ПДС 2021.004 при ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке в УНИБЦ (Научной библиотеке) ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, и на сайте: <https://www.rudn.ru/science/dissovet>.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат сельскохозяйственных наук

В.А. Бурлуцкий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. В условиях продовольственной безопасности и импортозамещения возрастает потребность в альтернативных источниках растительного белка. Перспективным решением для России является интродукция сои овощной (*Glycine max* L.) – высокобелковой культуры с растущим рыночным спросом. Однако в РФ эта культура остаётся малоизученной: дефицит отечественных семян и зональных технологий сдерживает её производственное освоение.

Биологизация земледелия играет ключевую роль в повышении эффективности возделывания бобовых. Изучение симбиоза «растение–микроорганизм» актуально в контексте снижения антропогенной нагрузки и минимизации минеральных азотных удобрений. Однако высокая специфичность взаимодействий требует дифференцированного подхода: эффективность симбиоза зависит от правильного сочетания генотипов сои овощной и штаммов ризобий, адаптированных к почвенно–климатическим условиям региона.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью выявления сортов и сортообразцов сои овощной, адаптированных к условиям Нечернозёмной зоны РФ, и оценки влияния предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением на основе *Bradyrhizobium japonicum* и *Sinorhizobium fredii* на продуктивность и симбиотический потенциал растений. Определение оптимальных комбинаций «генотип–штамм» позволит разработать ресурсосберегающие технологии возделывания, что подтверждает научную и практическую значимость работы.

Степень разработанности темы. Проблема технологии возделывания и предпосевной обработки семян сои овощной (*Glycine max* L.) находится на стыке интродукции, физиологии симбиоза и биологизации земледелия. За рубежом культура изучена комплексно, преимущественно для зернового направления и климатических условий, отличных от российских (Shafigullin D. R. et al., 2018; Kim Ye. E. et al., 2018; Sharaf N. et al., 2019). В РФ исследования сои овощной фрагментарны и ведутся с 2015 г. (Посыпанов Г. С. и др., 2007). Отсутствие систематизированных данных по адаптивности, биохимическому профилю и эффективности предпосевной обработки семян сортов и сортообразцов в условиях Нечерноземной зоны РФ обуславливает актуальность настоящего исследования.

Цель исследования – разработать научно обоснованные элементы технологии возделывания сои овощной (*Glycine max* L.) в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны РФ на основе оценки эффективности предпосевной обработки семян биопрепаратом (*Bradyrhizobium japonicum*) и микробиологическим удобрением (*Sinorhizobium fredii*), выявить адаптивные генотипы, обеспечивающие стабильную продуктивность и качество урожая при минимизации антропогенной нагрузки на агроэкосистемы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Оценить адаптивный потенциал коллекционных сортов и сортообразцов сои овощной (*Glycine max* L.) в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны РФ по комплексу морфобиологических, фенологических и биометрических показателей.
2. Изучить влияние предпосевной обработки семян сои овощной на основе *Bradyrhizobium japonicum* и *Sinorhizobium fredii* на формирование симбиотического аппарата (клубенькообразование, активность азотфиксации) и фотосинтетическую деятельность растений.
3. Определить эффективность предпосевной обработки семян в отношении элементов структуры урожая и продуктивности сортов и сортообразцов сои (масса семян с растения, количество бобов, масса 1000 семян).
4. Выявить влияние биопрепарата и микробиологического удобрения на биохимический состав семян в фазе технической спелости (содержание белка, жиров, клетчатки, минеральных элементов: P, K, Fe, Zn).

5. Провести фенотипирование сортов и сортообразцов на основе анализа автофлуоресценции семян для оценки их качества и пищевой ценности в зависимости от применяемого биопрепарата и микробиологического удобрения.

6. Определить комплементарность пар «образец–инокулянт» и выделить генотипы, обеспечивающие максимальную эффективность симбиоза и урожайность в условиях региона.

7. Дать экономическую оценку эффективности применения биопрепарата и микробиологического удобрения при возделывании сортов и сортообразцов сои овощной в условиях Нечернозёмной зоны РФ.

Научная новизна исследования. Впервые для агроэкологических условий Нечерноземной зоны РФ обоснована эффективность предпосевной инокуляции сои овощной. Установлено, что применение микробиологического удобрения БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т) обеспечивает нодуляцию 90,3 % растений с интенсивностью 31,2 клубенька на растение, что статистически значимо превосходит показатели биопрепарата Оптимаиз 400, РК (61,9 % и 21,2 штук на растение). Данный приём компенсирует дефицит естественной инокуляции без применения дополнительных приемов агротехники. Разработаны дифференцированные нормативы биологизации технологии возделывания. Внедрение микробиологического удобрения БиоБеСтА, Ж повышает биологическую урожайность на 32–43 % и снижает себестоимость продукции на 12,4–22,4 %. Установлены критерии адаптивности сортообразцов А и F, обеспечивающие получение 4,36–4,69 т/га при рентабельности 98–110 % и прибыли 411187–467419 руб./га, что обосновывает их интеграцию в региональные адаптивные системы земледелия. Впервые сформулирован и подтвержден принцип избирательного подбора компоненты «сорт, сортообразец × инокулянт × целевой признак». Доказано, что для стандарта Брянская 11 оптимизация качественных параметров достигается применением биопрепарата Оптимаиз 400, РК, тогда как для сорта Hidaka приоритетным является микробиологическое удобрение БиоБеСтА, Ж, повышающее содержание минеральных веществ в семенах. Данный подход расширяет методологические основы управления продуктивностью сои в зонах рискованного земледелия.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Исследование вносит вклад в теорию адаптивной интенсификации и биологизации земледелия. Установлены закономерности влияния штаммов *B. japonicum* и *S. fredii* на продуктивность, стрессоустойчивость и азотное питание сои овощной в Нечернозёмной зоне, обоснованы критерии адаптивности генотипов (отзывчивость, стабильность, пластичность) для дифференцированного подбора пары «генотип × агроприём». Доказана возможность частичной замены минерального азота биопрепаратами без снижения урожайности, что развивает теорию экологически безопасного воспроизводства плодородия дерново–подзолистых почв.

Разработаны элементы зональной технологии возделывания сои овощной для Центрального Нечерноземья: нормативы предпосевной обработки семян (БиоБеСтА, Ж – 1,0 л/т; Оптимаиз 400, РК – 1,8 л/т), рекомендации по подбору комплементарных пар «инокулянт × генотип», параметры оптимизации азотного питания. Экономическая эффективность подтверждена прибавкой урожайности на 32–43 %, снижением себестоимости на 12,4–22,4 % и рентабельностью 98–110 % при использовании адаптивных сортов и сортообразцов. Материалы исследования интегрированы в образовательные программы аграрных вузов и систему повышения квалификации специалистов АПК.

Методология и методы исследований. Методология исследования базируется на положениях адаптивно–ландшафтного земледелия, теории бобово–ризобияльного симбиоза и системном подходе к оценке агроэкосистем. Лабораторные исследования включали: агрохимический анализ семян (содержание белка, жира, макроэлементов) по аттестованным методикам ГОСТ; оценку симбиотической эффективности: учёт количества и массы клубеньков; фенотипирование методом автофлуоресценции хлорофилла с использованием конфокального лазерного сканирующего микроскопа LSM 800. Статистическая обработка данных выполнена методом дисперсионного анализа (ANOVA)

по Б.А. Доспехову с использованием программного пакета InfoStat 2020. Достоверность различий оценивали по критерию Фишера (F–тест) при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Положения, выносимые на защиту:

1. Диагностическая значимость метода экспресс–фенотипирования семян по параметрам автофлуоресценции хлорофилла для дифференциации генотипов сои овощной по симбиотическому потенциалу, пищевой ценности и адаптивности к применяемым штаммам ризобий, что позволяет оптимизировать подбор сортов и сортообразцов в биологизированных системах земледелия.

2. Закономерности формирования продуктивности, морфофизиологических параметров и биохимического состава семян сои овощной под влиянием предпосевной обработки семян биопрепаратом Оптимайз 400, РК – 1,8 л/т (*Bradyrhizobium japonicum*) и микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж – 1,0 л/т (*Sinorhizobium fredii*), которые обеспечивают направленную регуляцию азотного питания и повышение качества урожая в почвенно–климатических условиях Центрального района Нечернозёмной зоны РФ.

3. Генотип–штаммовая специфичность бобово–ризобияльного симбиоза у сои овощной, позволяющая формировать комплементарные пары «сорт, сортообразец – штамм ризобий» с максимальной азотфиксирующей активностью, устойчивостью к абиотическим стрессам и стабильным формированием семян с улучшенными биохимическими показателями.

4. Элементы ресурсосберегающей технологии возделывания сои овощной, включающие дифференцированную предпосевную обработку семян, что позволяет повысить урожайность, улучшить качество продукции и обеспечить уровень рентабельности производства не ниже 68 % в условиях адаптивно–ландшафтного земледелия.

Степень достоверности и апробации результатов исследований. Достоверность результатов обеспечена методологической обоснованностью исследований в рамках адаптивно–ландшафтного земледелия и биологизации агроэкосистем, соблюдением методик полевого опыта (Б. А. Доспехов, ВНИИЗХ) и аттестованных лабораторных методов (ГОСТ). Трёхкратная рандомизированная повторность и трёхлетний цикл исследований (2022–2024 гг.) позволили учесть межгодовую изменчивость условий Нечернозёмной зоны РФ. Статистическая обработка выполнена методом дисперсионного анализа (ANOVA) в InfoStat 2020 при $p \leq 0,05$ с оценкой достоверности по НСР₀₅. Личный вклад автора включает постановку задач, разработку схемы эксперимента, проведение полевых и лабораторных исследований, статистический анализ и интерпретацию результатов. Основные положения и результаты диссертационной работы прошли научную апробацию на международных и всероссийских научных конференциях, в том числе: III молодёжная Всероссийская научная конференция с международным участием «PLANTAE & FUNGI – 2023: ВЫЗОВЫ XXI ВЕКА» (25–29 сентября 2023 г., Владивосток, Ботанический сад–институт Дальневосточного отделения РАН); XVI Международная научно–практическая конференция «Инновационные процессы в сельском хозяйстве» (25–26 апреля 2024 г., Москва, РУДН); XVII Международная научно–практическая конференция «Инновационные процессы в АПК» (23–24 апреля 2025 г., Москва, РУДН).

Публикация результатов исследования. Основные результаты исследования отражены в 10 научных публикациях, включая 1 статью в издании, индексируемом в Scopus, 2 статьи – в базе RSCI, 4 статьи – в журналах Перечня ВАК и РУДН, а также 3 работы в материалах международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, предложений производству, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы составляет 278 страниц, включая 77 страниц приложений. Основной текст иллюстрирован 13 таблицами и 22 рисунками. Библиографический список содержит 218 источников, в том числе 143 иностранных.

Личный вклад автора заключается в участии во всех этапах исследования: от разработки концепции, постановки цели и задач до практической реализации полевых и лабораторных экспериментов, статистической обработки данных и апробации результатов.

Экспериментальные данные получены автором самостоятельно на опытном участке ФНЦО РАН (ВНИИССОК, Одинцовский район, Московская область) в период 2022–2024 гг. Достоверность результатов обеспечена личным участием автора в закладке опытов, проведении агрохимических анализов и корректной статистической обработкой данных. Все основные положения, выносимые на защиту, сформулированы автором самостоятельно. Научные публикации и доклады на конференциях подготовлены при личном участии соискателя.

Благодарность. Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю, кандидату сельскохозяйственных наук, доценту Романовой Елене Валерьевне за постоянное руководство, ценные советы и поддержку на всех этапах подготовки диссертации, и член–корреспонденту РАН, доктору биологических наук, профессору Гинсу Мурату Сабировичу за содействие в организации и проведении полевых и лабораторных исследований на базе ФНЦО РАН. Автор благодарит кандидата биологических наук, главного специалиста по развитию АО «Аметис» Кузнецову Викторию Александровну за предоставленные биологические препараты для проведения опытов. Отдельную благодарность автор выражает коллективу агробиотехнологического департамента РУДН, а также сотрудникам лаборатории физиологии и биохимии растений и функциональных продуктов Федерального научного центра овощеводства за помощь в выполнении экспериментальной части работы и обсуждении полученных результатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы

В главе обосновано внедрение культур для продовольственной безопасности. Приоритет отдается растениям с высокой пищевой ценностью и потенциалом для индустриализации, таким как соя овощная, которую, в отличие от семенной, убирают зеленой в фазе технической спелости (R6). Это диетический продукт, богатый белком и клетчаткой. В Нечерноземье необходим отбор адаптированных скороспелых генотипов. Применение предпосевной обработки семян азотфиксирующими бактериями позволяет снизить потребление минеральных удобрений.

Глава 2. Условия, объекты, материалы и методы исследований

Исследования (2022–2024 гг.) проведены в ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Московская область) и Аграрно-технологическом институте РУДН, биохимический анализ – в ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка».

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, без сплошного подзолистого горизонта, мощность пахотного слоя до 32 см. Содержание гумуса 1,88 %, валового азота – 0,09 %, рН=6,0. Сумма поглощённых оснований – 13 мг-экв/100 г (насыщенность 87 %), подвижных форм P_2O_5 – 29,4 мг/100 г, K_2O – 22,8 мг/100 г, наименьшая влагоёмкость – 28–30 %.

Экспериментальный участок ранее не использовался под сою и другие бобовые. В 2022–2024 гг. температура воздуха преимущественно превышала норму, осадки распределялись неравномерно: в 2022 г. выпало 528 мм (78 % к норме), в 2023 г. засушливым был июль (46 % от нормы), в 2024 г. – июнь. Средняя температура вегетационного периода составила 16,63 °C, сумма осадков за период исследований – 420 мм (рис. 1).

Объект исследования – сорта сои овощной Брянская 11 (стандарт) и Hidaka, сортообразцы А и F из коллекционного фонда ФНЦ овощеводства.

Предмет исследования – влияние биопрепарата и микробиологического удобрения на агробиологические показатели сои овощной. Перед посевом семена обрабатывали биопрепаратом Оптимайз 400 (эталон), РК (1,8 л/т, *Bradyrhizobium japonicum*) и микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т, *Sinorhizobium fredii*); контроль – без предпосевной обработки семян. Инокулянты стимулируют фиксацию атмосферного азота, улучшают усвоение питательных элементов и повышают продуктивность культуры.

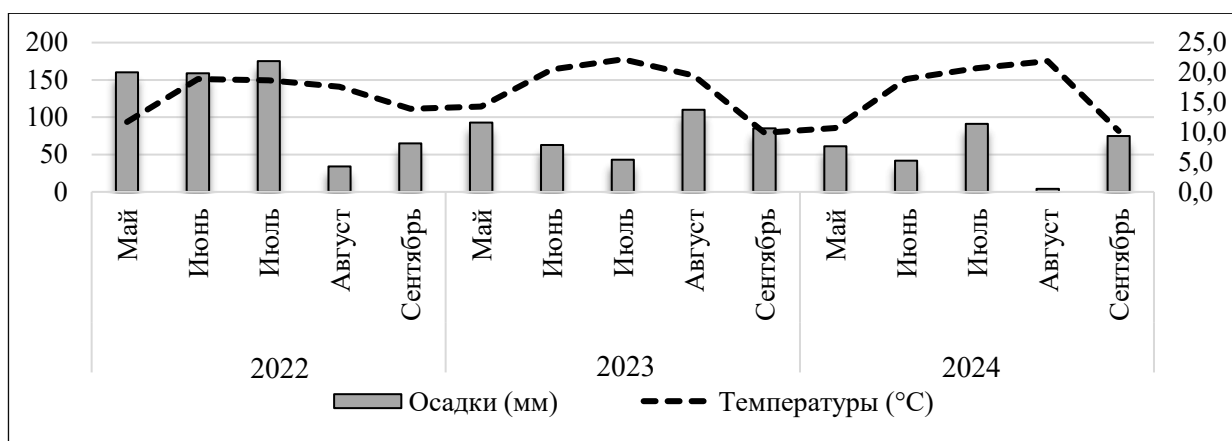


Рисунок 1. Среднемесячные температуры и среднее месячное количество осадков в Одинцовском районе Московской области по данным метеостанции ФНЦО РАН за 2022 – 2024 гг.

Биопрепарат Оптимайз 400, РК (СГР № 253-19-318-1) ускоряет клубенькообразование на сое. Содержит 10 млрд клеток *Bradyrhizobium japonicum*/г, обеспечивающих фиксацию атмосферного азота.

Микробиологическое удобрение БиоБеСтА, Ж (СГР № 253-19-318-1) содержит азотфиксирующие бактерии *Sinorhizobium fredii* ($\geq 70 \times 10^6$ кл/см³), повышающие адаптивность сои и стимулирующие наращивание биомассы в неоптимальных условиях.

Опыт заложен по схеме рандомизированных блоков (2 фактора, 3 повторности). Всего 12 вариантов, 36 делянок площадью 54 м². Случайное распределение обработок внутри блоков обеспечило достоверность результатов. Схема исследований представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема исследований

Сорт, сортообразец	Биопрепарат, микробиологическое удобрение
Брянская 11 (St)	Контроль (без обработки)
	Оптимайз 400 (эталон), РК, 1,8 л/т (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т (<i>Sinorhizobium fredii</i>)
Hidaka	Контроль (без обработки)
	Оптимайз 400 (эталон), РК, 1,8 л/т (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т (<i>Sinorhizobium fredii</i>)
А	Контроль (без обработки)
	Оптимайз 400 (эталон), РК, 1,8 л/т (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т (<i>Sinorhizobium fredii</i>)
F	Контроль (без обработки)
	Оптимайз 400 (эталон), РК, 1,8 л/т (<i>Bradyrhizobium japonicum</i>)
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т (<i>Sinorhizobium fredii</i>)

Определяли следующие показатели:

Анализ вторичных метаболитов выполнен методами автофлуоресцентной конфокальной микроскопии (LSM 800, Carl Zeiss) и tandemной масс-спектрометрии (amaZon SL, Bruker, ESI-ионизация, MS⁴) на Дальневосточной опытной станции ВИР. Экстракцию фенольных соединений проводили последовательной мацерацией метанолом.

Полевые опыты заложены в 2022–2024 гг. Биометрические наблюдения и учёт структурных элементов урожайности проводили в фазах цветения (R1) и технической спелости (10 % побурения бобов) согласно методическим рекомендациям. Отбор образцов осуществляли методом случайной выборки (10 типичных растений с делянки 1 м², трёхкратная повторность). Оценивали: морфометрические показатели растений, клубенькообразование (доля заселённых растений, количество функциональных

клубеньков), компоненты урожайности (масса растения и семян, масса 1000 семян, число семян в бобе), биологическую урожайность зелёных бобов.

Биохимический состав семян (белок, жир, клетчатка, влага, зола) определяли методом ближней ИК-спектроскопии (FOSS NIRS DA1650), содержание макро- и микроэлементов (P, K, Fe, Zn) – химическими методами по ГОСТ. Результаты пересчитывали на абсолютно сухое вещество.

Экономическую эффективность рассчитывали по показателям себестоимости, прибыли и рентабельности на основе технологических карт и данных урожайности. Статистическую обработку данных выполняли в пакете InfoStat 2020: дисперсионный анализ (ANOVA) для рандомизированной блочной схемы, сравнение средних методом НСР₀₅ с предварительной проверкой нормальности распределения и однородности дисперсий.

Предшественник – морковь. Основная осенняя обработка включала дисковое лущение (6–8 см), сплошное применение гербицида Глифосанс (4–6 л/га), внесение удобрений (P₅₀K₄₅) и вспашку на 25–27 см. Весенняя обработка: боронование, предпосевная культивация, протравливание семян Фундазолом (3 кг/т) с инокулянтами, внесение почвенных гербицидов (Трофи-90, Фронтьер Оптима). Посев во второй декаде мая широкорядным способом (междурядья 30 см, глубина 3–4 см, густота 30 раст./м²) сеялкой Ритм-1М с одновременным внесением фосфора (P₁₀₋₁₅). После посева – прикатывание. Химическая защита: гербициды (Базагран, Центурион, Пивот) в зависимости от фазы развития сои и состава сорняков; фунгициды (Оптимо, Колосаль Про) с микроудобрениями; инсектициды (Кинфос, Каратэ Зеон, Ципи) против основных вредителей. Уборка в фазе технической спелости (пожелтение нижних листьев, зелёные плотные бобы, влажность 13–15 %) прямым комбайнированием специализированной жаткой с гибким ножом (срез 3 см). Скорость комбайна ≤5 км/ч, частота вращения барабана 400–600 об/мин. Все мероприятия выполнены согласно рекомендациям Д. Р. Шафигуллина.

Глава 3. Фенотипирование сортов и сортообразцов сои овощной на основе анализа автофлуоресценции семян

При сравнительном анализе автофлуоресценции семян сорта Hidaka выявлена более интенсивная синяя флуоресценция во внешних слоях семядолей образцов урожая 2024 г. по сравнению с 2022–2023 гг., что, вероятно, отражает повышенное накопление гидроксикиннамовых кислот (преимущественно феруловой) в клеточных стенках. По другим параметрам (распределение флуорофоров, интенсивность зелёной и красной флуоресценции) значимых различий не обнаружено.

Установлены сортоспецифические паттерны автофлуоресценции, коррелирующие с окраской семенной кожуры. Яркая красная флуоресценция у сортообразцов F и A обусловлена хлорофиллом *a*, сохраняющимся в зелёной кожуре зрелых семян. У сорта Hidaka с бежевой кожурой сигнал в красной области слабый. Несмотря на детектирование петунидина методом масс-спектрометрии, вклад антоцианидинов в флуоресценцию незначителен из-за крайне низкого квантового выхода (<0,001); вероятные источники красной автофлуоресценции – порфирины или продукты окисления фенолов. Отмечено ограничение метода: без спектрального разрешения невозможно разделение сигналов флуорофоров с перекрывающимися спектрами эмиссии. Зелёная автофлуоресценция не показала достоверных межсортных различий.

Автофлуоресцентная конфокальная микроскопия представляет перспективный экспресс-метод скрининга, позволяющий бесконтактно визуализировать распределение эндогенных флуорофоров (фенольных соединений, хлорофилла *a*, флавиновых коферментов) без сложной пробоподготовки. Картирование этих метаболитов даёт косвенную информацию о физиологическом состоянии семян, их зрелости и стресс-индуцированных изменениях метаболизма. Прямое количественное определение белков, липидов и углеводов данным методом невозможно ввиду отсутствия у них собственной флуоресценции в видимой области.

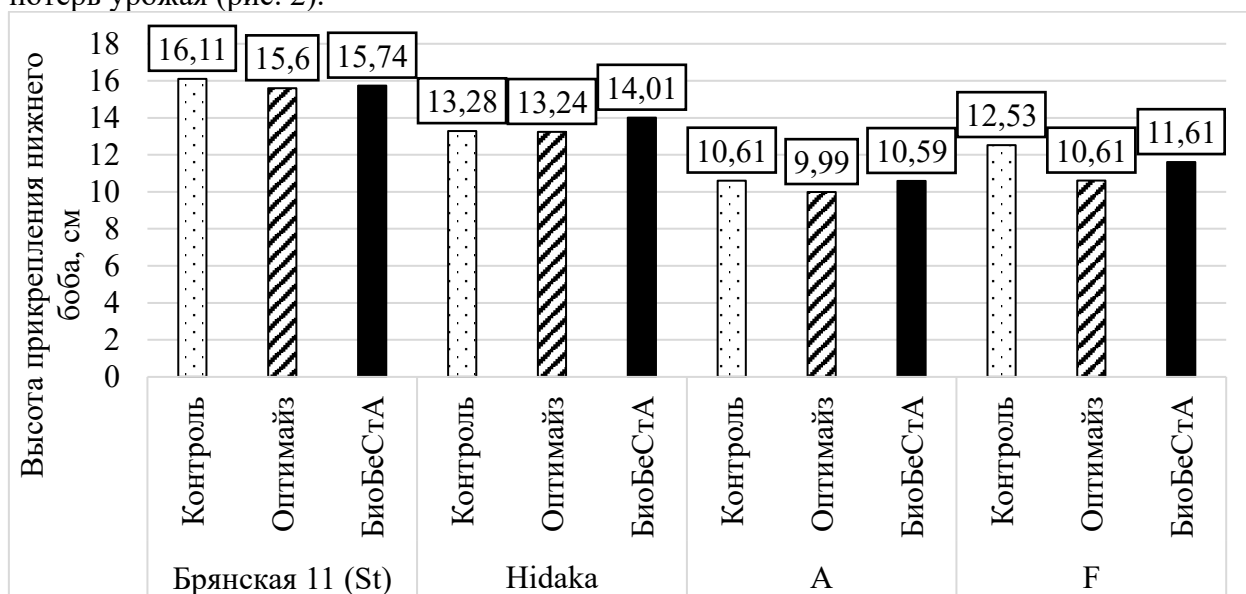
Интеграция автофлуоресцентной микроскопии с tandemной масс-спектрометрией и ВЭЖХ-МС/МС создаёт основу для мультимодального анализа: пространственное распределение флуорофоров коррелирует с количественным профилем метаболитов. Такой подход позволяет выявлять взаимосвязи между тканевой локализацией вторичных метаболитов, физиологическим статусом семян и агроэкономически значимыми признаками (всхожесть, стрессоустойчивость, пищевая ценность), что открывает возможности для хемотипирования и ускоренной селекции.

Таким образом, автофлуоресцентная микроскопия служит эффективным инструментом визуализации распределения фенольных соединений и других флуорофоров в тканях семян сои овощной (*Glycine max* L.). Метод позволяет оперативно выявлять сортовые различия и оценивать влияние агротехнологических факторов на метаболический профиль. Периферическая локализация фенолов в семенной кожуре формирует биохимический барьер, потенциально повышающий устойчивость к стрессам. Разработка мультимодальных подходов способствует оптимизации селекционных программ и созданию сортов с улучшенными адаптивными свойствами.

Глава 4. Влияние предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением на формирование элементов продуктивности сортов и сортообразцов сои овощной

4.1 Высота прикрепления нижнего боба

Высота прикрепления нижних бобов является ключевым критерием пригодности сорта сои овощной к механизированной уборке, поскольку напрямую определяет величину потерь урожая (рис. 2).



Примечание. НСР₀₅ (частных различий) = 1,47 см, НСР₀₅ (фактор А) = 0,85 см, по фактору В F_{факт.} = 2,63 < F₀₅ = 3,44.

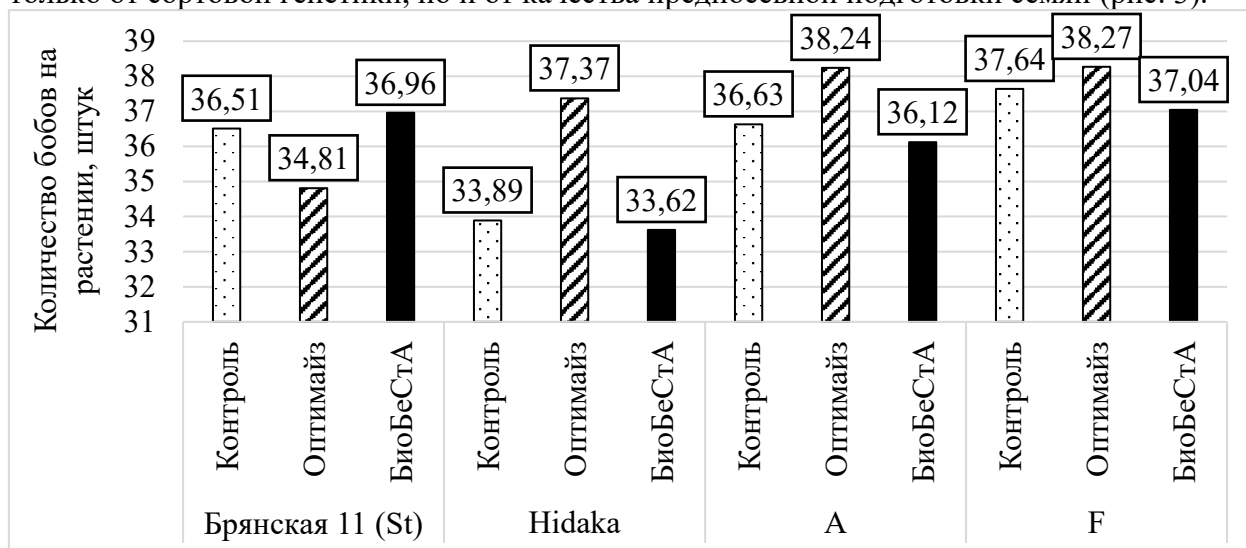
Рисунок 2. Высота прикрепления нижнего боба сортов и сортообразцов сои овощной в зависимости от предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, см (среднее за 2022–2024 гг.)

Сорт Hidaka достоверно уступал стандарту Брянская 11 (контроль, 16,11 см) по высоте прикрепления нижнего боба на 13,0–17,8 %. Ещё более существенное отставание выявлено у сортообразцов А (34,1–38,0 %) и F (12,2–34,1 %). Обработка семян биопрепаратом Оптимайз 400, РК (1,8 л/т) и микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т) не привела к значимым изменениям признака: различия с контролем находились в пределах ошибки опыта (НСР₀₅). Сравнение средних значений по фактору «генотип» выявило достоверные различия:

сорт Hidaka (13,51 см) уступал стандарту Брянская 11 (15,82 см) на 14,6 %. Ещё более выраженное отставание отмечено у сортообразцов F (11,58 см, 26,8 %) и A (10,4 см, 34,3 %).

4.2 Количество бобов на растении

Количество бобов на растении сои овощной – управляемый параметр, зависящий не только от сортовой генетики, но и от качества предпосевной подготовки семян (рис. 3).



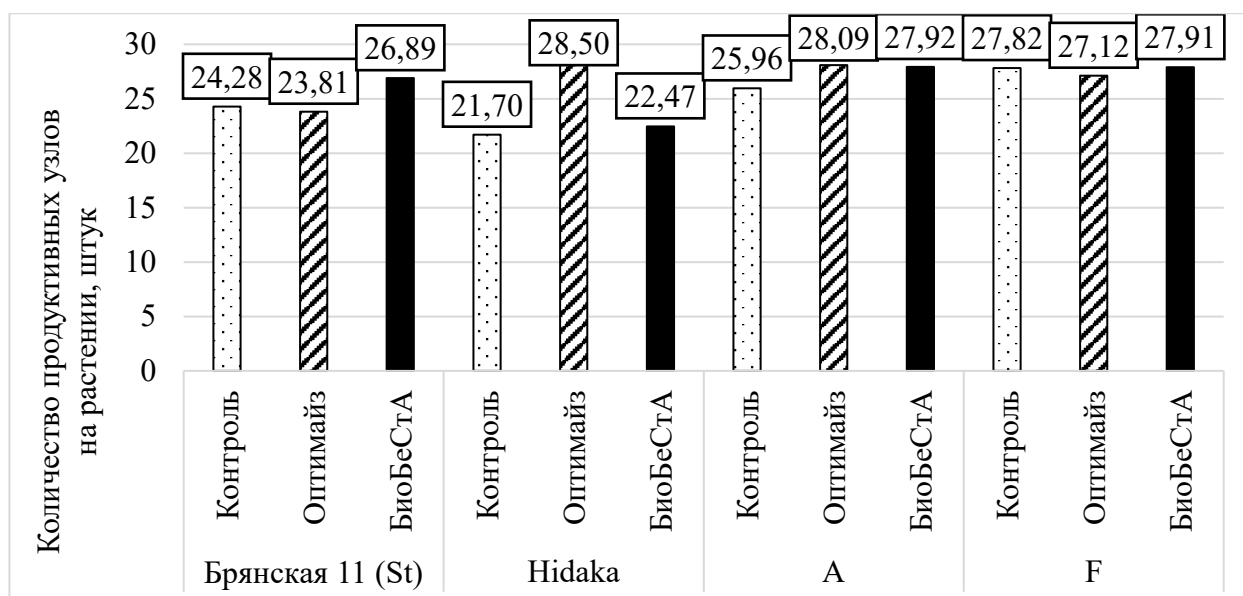
Примечание. $НСП_{05}$ (частных различий) = 2,26 шт., $НСП_{05}$ (фактор А) = 1,31 шт., по фактору В $F_{факт.} = 2,91 < F_{05} = 3,44$.

Рисунок 3. Количество бобов на растении сортов и сортообразцов сои овощной в зависимости от предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, штук (среднее за 2022–2024 гг.)

Большинство изученных генотипов не имели статистически значимых отличий от контроля (Брянская 11 без обработки) по количеству бобов на растении: различия не превышали значения $НСП_{05}$, что свидетельствует об их биологической эквивалентности по данному показателю. Исключение составил сорт Hidaka, для которого зафиксировано достоверное снижение количества бобов на растении в двух вариантах: при инокуляции семян микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т) – на 2,89 шт. (7,9 %) и без инокуляции – на 2,62 шт. (7,2 %). При этом абсолютные значения признака составили 33,62 и 33,89 штук на растение соответственно против 36,51 штук в контроле. Поскольку снижение наблюдалось как при обработке, так и без неё, данный эффект, вероятнее всего, обусловлен сортовой спецификой сорта Hidaka, а не действием инокулянта. Сравнение по фактору «генотип» выявило достоверное преимущество сортообразца F (37,65 шт./растение), превысившего стандарт Брянская 11 на 4,3 % (1,56 шт.), что свидетельствует о его повышенном продуктивном потенциале. Для сортов Hidaka (34,96 шт.) и сортообразца А (37,0 шт.) статистически значимых отличий от контроля не установлено: отклонения не превышали значения $НСП_{05}$, что позволяет считать данные генотипы биологически эквивалентными стандарту по уровню формирования бобов в условиях проведённого исследования.

4.3 Количество продуктивных узлов

Количество продуктивных узлов служит косвенным показателем оценки продуктивности генотипов сои овощной. Формирование данного признака обусловлено как сортовой принадлежностью, так и применением биопрепарата и микробиологического удобрения (рис. 4).



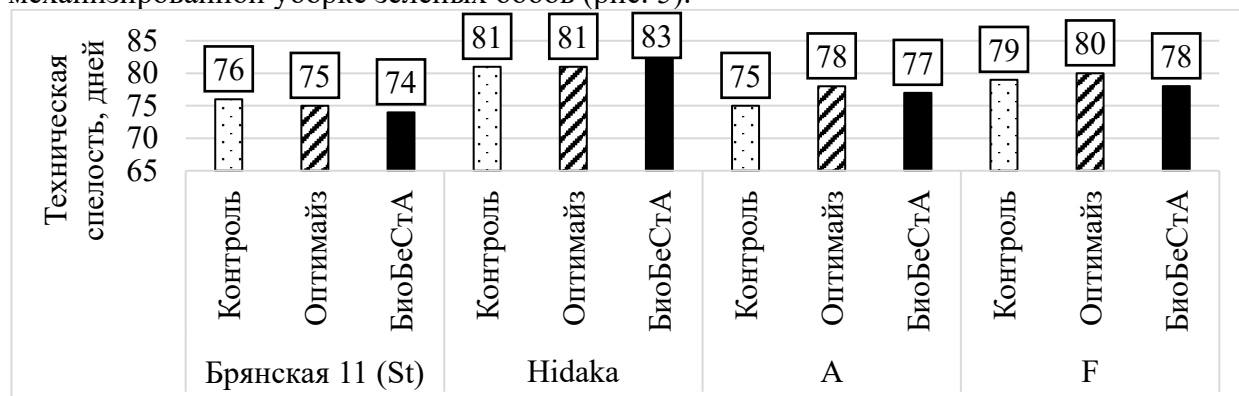
Примечание. НСР₀₅ (частных различий) = 2,12 шт., НСР₀₅ (А) = 1,22 шт., НСР₀₅ (В, АВ) = 1,06 шт.

Рисунок 4. Количество продуктивных узлов на растении сои в зависимости от обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, шт. (среднее за 2022–2024 гг.)

Максимальное количество продуктивных узлов (28,5 шт./растение) получено при инокуляции сорта Hidaka биопрепаратом Оптимайз 400, РК (1,8 л/т), что достоверно превышало контроль (Брянская 11 без обработки – 24,28 шт.) на 17,4 %. Высокий показатель обеспечила обработка этим же препаратом сортообразца А (28,09 шт., 15,7 %). Большинство остальных вариантов продемонстрировали достоверную прибавку по данному показателю. Исключение составил сорт Hidaka без обработки, уступающий контролю на 10,6 % (2,58 шт.). Варианты с сортообразцом А без инокуляции и сортом Брянская 11 + Оптимайз 400, РК не имели статистически значимых отличий от контроля (различия в пределах НСР₀₅). Полученные данные подтверждают положительное влияние инокуляции, особенно биопрепаратом Оптимайз 400, РК, на формирование продуктивных узлов у отдельных генотипов сои.

4.4 Техническая спелость

В фазе технической спелости семена сои сохраняют мягкую консистенцию и зелёную окраску. Синхронность формирования бобов, определяемая продолжительностью периода цветения, обуславливает пригодность сортов с коротким цветением к механизированной уборке зелёных бобов (рис. 5).



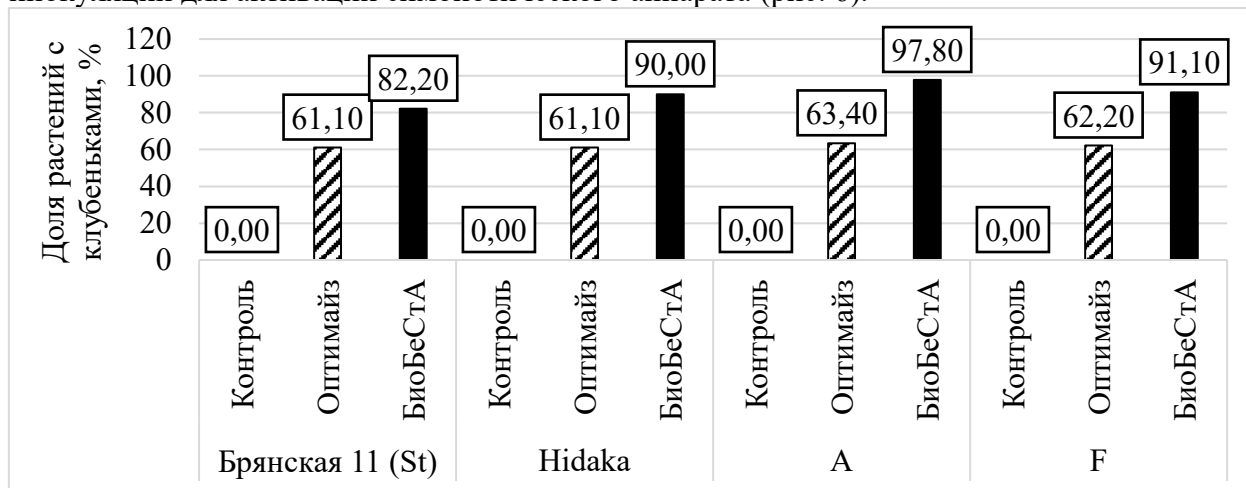
Примечание. НСР₀₅ (частных различий) = 6,98 дней, НСР₀₅ (фактор А) = 4,03 дней, по фактору В $F_{\text{факт.}} = 0,07 < F_{05} = 3,44$.

Рисунок 5. Срок наступления технической спелости растений сортов сои в зависимости от предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, дней (среднее за 2022–2024 гг.)

Наиболее поздним созреванием характеризовался сорт Hidaka при предпосевной обработке семян микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т) – 83 дня, что достоверно превышало контроль (Брянская 11 без обработки) на 7 дней (9,2 %). У остальных генотипов длительность периода до технической спелости варьировала в пределах 74–81 дня; различия внутри этой группы были статистически недостоверны (в пределах НСР₀₅), что позволяет объединить их в одну однородную группу по скороспелости.

4.5 Доля растений с клубеньками

Предпосевная обработка семян *Bradyrhizobium japonicum* обеспечила 100 % нодуляцию растений сои, тогда как в контроле (без инокуляции) клубеньки отсутствовали или были единичными, что подтверждает высокую эффективность искусственной инокуляции для активации симбиотического аппарата (рис. 6).



Примечание. НСР₀₅ (частных различий) = 8,18 %, НСР₀₅ (фактор В) = 4,09 %, по фактору А F_{факт.} = 2,3 < F₀₅ = 3,05.

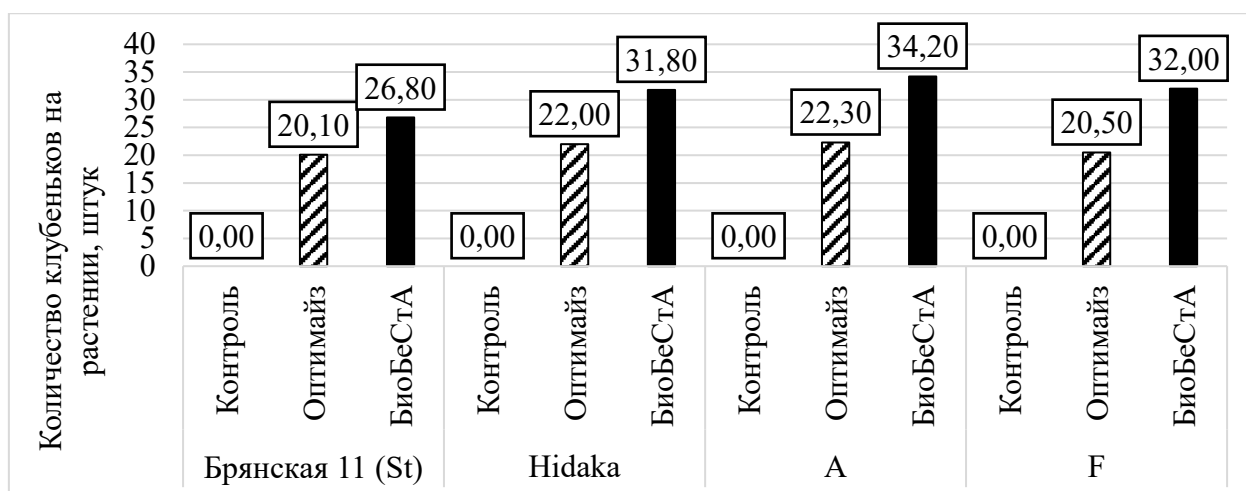
Рисунок 6. Доля растений сои овощной с клубеньками в зависимости от сортов, сортообразцов, предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, % (среднее за 2022–2024 гг.)

Доля нодулированных растений подтвердила высокую эффективность искусственной инокуляции: лидером стал сортобразец А в комбинации с микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (97,8 %). БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т) достоверно превзошёл биопрепарат Оптимайз 400, РК (1,8 л/т) на 21,1–27,7 %, что позволяет рекомендовать его как более эффективный инокулянт для данных условий. Полное отсутствие клубеньков в контроле (0 %) свидетельствует о дефиците эффективных штаммов *Bradyrhizobium japonicum* в почве и подтверждает необходимость обязательной предпосевной обработки семян. Отсутствие достоверных различий между генотипами в пределах одного инокулянта согласуется с данными дисперсионного анализа, где факторы «генотип» и их взаимодействие с биопрепаратом и микробиологическим удобрением оказались незначимыми.

4.6 Количество клубеньков на растении

Предпосевная обработка семян сои овощной биопрепаратом и микробиологическим удобрением достоверно увеличила количество клубеньков на растении культуры (рис. 7).

Максимальное количество клубеньков на растении сои овощной (34,2 шт./растение) получено при предпосевной обработке семян сортообразца А микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т). Высокие показатели также обеспечила обработка БиоБеСтА, Ж сортов Hidaka и F (31,8–32,0 шт.). Применение биопрепарата Оптимайз 400, РК (1,8 л/т) дало достоверно более низкие значения (20,5–22,3 шт.).



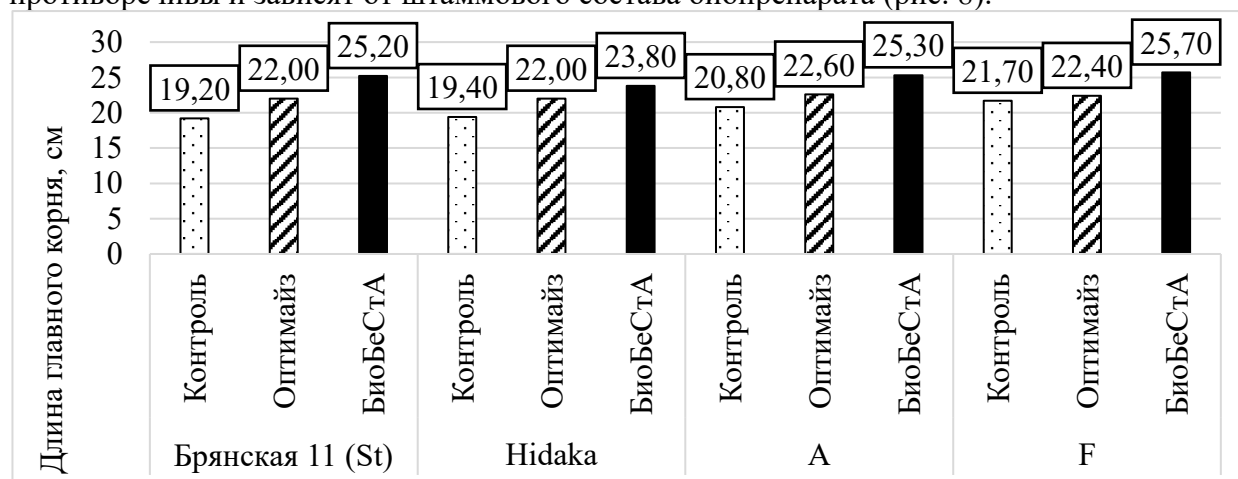
Примечание. НСР₀₅ (частных различий) = 2,33 шт., НСР₀₅ (фактор А) = 1,35 шт., НСР₀₅ (фактор В, АВ) = 1,17 шт.

Рисунок 7. Количество клубеньков на растении сои овощной в зависимости от сортов, сортообразцов и предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, штук (среднее за 2022–2024 гг.)

У стандарта Брянская 11 количество клубеньков составило 26,8 шт. (БиоБеСтА, Ж) и 20,1 шт. (Оптимайз 400, РК). В контрольном варианте (без инокуляции) клубеньки на растениях отсутствовали, что подтверждает эффективность искусственной предпосевной обработки семян для активации симбиотического аппарата сои овощной.

4.7 Длина главного корня

Морфометрическая пластичность корней сои овощной определяется генотипом и условиями возделывания: высокорослые генотипы формируют более глубокие корни, что обеспечивает доступ к влаге нижних горизонтов и повышает засухоустойчивость. Влияние инокуляции на рост корней остаётся дискуссионным: несмотря на доказанную стимуляцию клубенькообразования, данные о воздействии ризобий на удлинение главного корня противоречивы и зависят от штаммового состава биопрепарата (рис. 8).



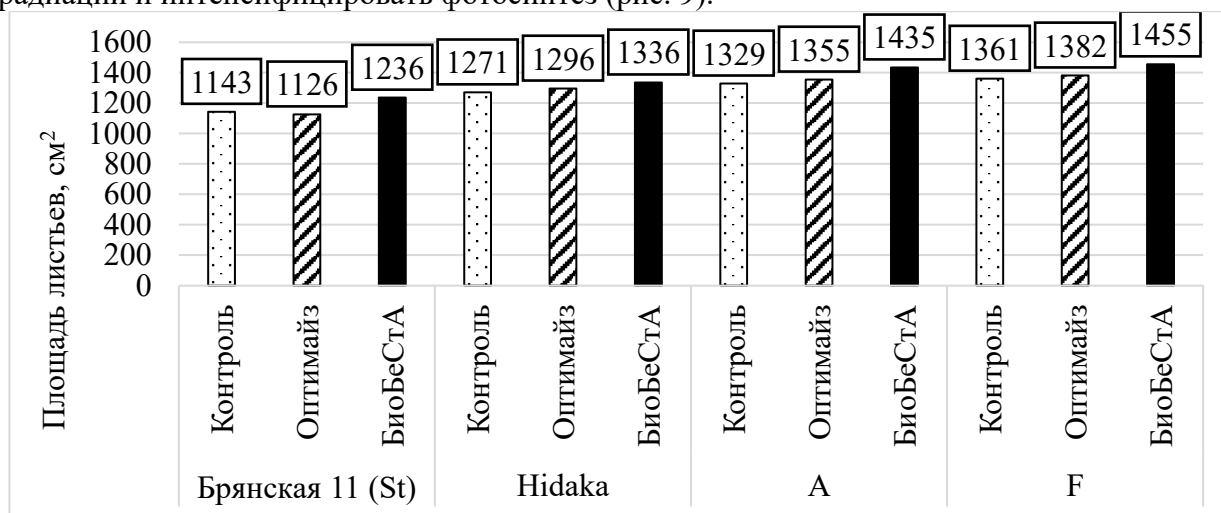
Примечание. НСР₀₅ (частных различий) = 2,6 см, НСР₀₅ (фактор В) = 1,3 см, по фактору А $F_{\text{факт.}} = 1,85 < F_{05} = 3,05$.

Рисунок 8. Длина главного корня сои овощной в зависимости от сортов, сортообразцов и предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, см (среднее за 2022–2024 гг.)

Максимальную длину главного корня (25,2–25,7 см) сформировали стандарт Брянская 11 и сортообразцы А, F при предпосевной обработке семян микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т), что достоверно превышало контроль (19,2 см) на 31,2–33,8 %. Сорт Hidaka с той же обработкой также достоверно превысил контроль на 24,0 %. Применение биопрепарата Оптимайз 400, РК (1,8 л/т) на сортообразцах А и F обеспечило значимую прибавку длины корня на 16,7–17,7 %. Различия по остальным вариантам опыта не превышали значения НСР₀₅ и были статистически незначимы. Полученные данные подтверждают положительное влияние инокуляции, особенно микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж, на развитие корневой системы сои овощной.

4.8 Площадь листовой поверхности

Эффективная биологическая фиксация азота способствует увеличению листовой поверхности: достаточное азотное питание стимулирует синтез хлорофилла и фотосинтетических пигментов, поскольку азот является ключевым элементом биосинтеза аминокислот и белков. Это позволяет растению оптимизировать утилизацию солнечной радиации и интенсифицировать фотосинтез (рис. 9).



Примечание. НСР₀₅ (частных различий) = 69,56 см², НСР₀₅ (фактор А) = 40,16 см², НСР₀₅ (фактор В) = 34,78 см².

Рисунок 9. Площадь листовой поверхности на растении сои овощной в зависимости от сортов, сортообразцов и предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, см² (среднее за 2022–2023 гг.)

Максимальную площадь листовой поверхности (1455 см²) обеспечила предпосевная обработка семян сортообразца F микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т), что достоверно превышало контроль (Брянская 11 без обработки – 1143 см²) на 27,3 %. Высокие показатели также получены при инокуляции сортообразца А тем же препаратом (1435 см², 25,5 %). Применение биопрепарата Оптимайз 400, РК (1,8 л/т) на сортах Hidaka, А и F обеспечило достоверную прибавку площади листьев на 13,4–20,9 %. Во всех остальных вариантах различия с контролем были статистически значимы, за исключением комбинации Брянская 11 + Оптимайз 400, РК, где эффект обработки не превышал значения НСР₀₅. Полученные данные подтверждают положительное влияние инокуляции, особенно микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж, на формирование фотосинтетического аппарата сои.

4.9 Структура урожая

Предпосевная обработка семян сои овощной биопрепаратом и микробиологическим удобрением стимулирует клубенькообразование, повышает эффективность симбиотической азотфиксации и формирует выровненную структуру урожая, что в совокупности обеспечивает достоверное увеличение продуктивности культуры (табл. 2).

Таблица 2. Структура урожая сортов и сортообразцов сои овощной в зависимости от предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением (среднее за 2022–2024 гг.)

Сорт, сортообразец (фактор А)	Биопрепарат, микробиологическое удобрение (фактор В)	Масса растения, г	Масса семян с растения, г	Масса 1000 семян, г	Число семян с растения, шт.	Число семян в бобе, шт.
Брянская 11 (St)	Контроль, б/о	21,24	10,62	113,8	101,03	2,77
	Оптимайз 400, РК	22,39	12,03	115,9	104,77	3,01
	БиоБеСтА, Ж	26,31	12,49	126,5	105,79	2,86
Hidaka	Контроль, б/о	24,73	12,13	134,8	88,67	2,53
	Оптимайз 400, РК	26,68	13,04	146,7	92,52	2,49
	БиоБеСтА, Ж	27,7	13,83	153,8	98,31	2,85
А	Контроль, б/о	24,28	12,41	154,1	90,19	2,47
	Оптимайз 400, РК	26,72	12,67	161,3	92,83	2,46
	БиоБеСтА, Ж	29,04	13,93	169,3	98,42	2,75
F	Контроль, б/о	23,68	11,76	143,7	90,85	2,45
	Оптимайз 400, РК	26,88	12,2	151,8	94,52	2,51
	БиоБеСтА, Ж	27,67	14,35	161,7	95,36	2,63
НСР ₀₅ (частных различий)		2,8	0,85	7,27	5,24	0,18
НСР ₀₅ (фактор А)		1,62	0,49	4,2	3,03	0,1
НСР ₀₅ (фактор В)		1,4	0,42	3,63	2,62	0,09

Максимальную массу одного растения (29,04 г) обеспечила комбинация сортообразца А с микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т), что достоверно превышало контроль (Брянская 11 без обработки) на 36,7 %. Высокую эффективность также показала обработка БиоБеСтА, Ж сортообразцов F и Hidaka (30,3–30,4 % к контролю).

Наибольшая масса семян с растения (14,35 г) получена при инокуляции сортообразца F микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (35,1 % к контролю). Сопоставимые результаты обеспечила обработка БиоБеСтА, Ж сортов Hidaka и А (30,2–31,2 %). Биопрепарат Оптимайз 400, РК (1,8 л/т) также достоверно повышал массу семян на сортообразцах А и Hidaka (19,3–22,8 %).

Максимальная масса 1000 семян (169,3 г) достигнута на сортообразце А при предпосевной обработке семян БиоБеСтА, Ж (48,8 % к контролю). Высокие значения также получены при инокуляции этого же генотипа биопрепаратом Оптимайз 400, РК и сортообразца F микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (41,7–42,1 %).

По количеству семян с растения достоверных преимуществ предпосевной обработки семян не выявлено: большинство вариантов не различались с контролем (101,03 шт.), а ряд комбинаций «генотип × инокулянт» показал статистически значимое снижение на 5,6–12,2 %.

Максимальное количество семян в бобе (3,01 шт.) отмечалось у сорта Брянская 11 при обработке Оптимайз 400, РК (8,7 % к контролю). Инокуляция микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж не обеспечила достоверной прибавки по данному показателю; для отдельных генотипов отмечено статистически значимое снижение (на 0,24–0,32 шт.).

4.10 Биологическая урожайность

Предпосевная обработка семян ризобиями увеличивает количество и массу клубеньков, повышает интенсивность азотфиксации, что способствует усилению ростовых процессов и формированию более высокой урожайности сортов и сортообразцов сои (табл. 3).

Максимальная биологическая урожайность в 2022 г. (4,92 т/га) получена при инокуляции сортообразца А микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т), что достоверно превышало контроль (Брянская 11 без обработки) на 59,2 %. Высокие результаты также обеспечила обработка сортообразца F тем же препаратом (4,48 т/га, 45,0 %).

Таблица 3. Биологическая урожайность сои овощной в зависимости от сортов, сортообразцов, предпосевной обработки семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением, т/га

Сорт, сортообразец (фактор А)	Биопрепарат, микробиологическое удобрение (фактор В)	Биологическая урожайность			
		2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средняя
Брянская 11 (St)	Контроль, без обработки	3,09	3,22	3,56	3,29
	Оптимайз 400, РК, 1,8 л/т	3,15	3,47	3,88	3,5
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т	3,58	3,7	4,07	3,78
Hidaka	Контроль, без обработки	3,4	3,35	3,41	3,39
	Оптимайз 400, РК, 1,8 л/т	3,55	3,87	4,24	3,89
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т	4,01	4,04	4,56	4,2
А	Контроль, без обработки	3,96	3,99	3,93	3,96
	Оптимайз 400, РК, 1,8 л/т	4,27	4,41	4,25	4,31
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т	4,92	4,74	4,4	4,69
F	Контроль, без обработки	3,77	3,76	3,7	3,74
	Оптимайз 400, РК, 1,8 л/т	4,28	4,09	3,95	4,11
	БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т	4,48	4,41	4,19	4,36
НСР ₀₅ (частных различий)		0,41	0,44	0,43	0,37
НСР ₀₅ (фактор А)		0,23	0,25	0,25	0,21
НСР ₀₅ (фактор В)		0,2	0,22	0,22	0,18

В 2023 г. лидером остался сортообразец А с БиоБеСтА, Ж (4,74 т/га, 47,2 % к контролю); сопоставимую эффективность показал данный генотип при обработке биопрепаратом Оптимайз 400, РК (4,41 т/га, 37,0 %). В 2024 г. наилучший результат обеспечил сорт Hidaka с инокуляцией БиоБеСтА, Ж (4,56 т/га, 28,1 %), а сортообразец А с той же обработкой обеспечил 4,4 т/га (23,6 %). В среднем за 2022–2024 гг. максимальная урожайность (4,69 т/га) достигнута на сортообразце А при обработке БиоБеСтА, Ж (42,5 % к контролю). Высокую стабильную эффективность также показал сортообразец F с тем же биопрепаратом (4,36 т/га, 32,5 %).

4.11 Биохимический состав семян

Эффективность азотфиксирующих бактерий в формировании качества семян сои зависит от условий среды, модулирующих их симбиотическую активность. Адекватное азотное питание за счёт биологической фиксации улучшает усвоение фосфора и калия, способствуя оптимизации онтогенеза и повышению питательной ценности семян (табл. 4).

Максимальное содержание белка (37,1–37,2 г/100 г) в фазе технической спелости достигнуто при предпосевной обработке семян сортообразцов А и F микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т), что достоверно превышает контроль (Брянская 11 без обработки – 33,1 г/100 г) на 12,1–12,4 %. Биопрепарат Оптимайз 400, РК (1,8 л/т) также обеспечил значимую прибавку белка на тех же генотипах (36,3–36,6 г/100 г). Во всех остальных сочетаниях «генотип × инокулянт» содержание белка превышало контроль на 2,7–7,8 %, что подтверждает общую положительную тенденцию влияния инокуляции на белковость семян.

Наибольшее содержание жира (15,1–15,7 г/100 г) обеспечивалось у сорта Брянская 11 при предпосевной обработке семян биопрепаратом и микробиологическим удобрением (7,9–12,1 % к контролю). Для остальных генотипов инокуляция в большинстве вариантов приводила к статистически значимому снижению содержания жира, что указывает на генотипическую специфику реакции липидного обмена.

Максимальное содержание клетчатки (3,4 г/100 г) достигнуто при инокуляции сортообразца F микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (30,8 % к контролю). Большинство сочетаний «генотип × инокулянт» обеспечили значимое повышение этого показателя на 11,5–19,2 %.

Таблица 4. Биохимический состав семян сои в фазе технической спелости в зависимости от сортов, сортообразцов и предпосевной обработки семян (среднее за 2022–2024 гг.)

Сорт, сортообразец (фактор А)	Биопрепарат, микробиологическое удобрение (фактор В)	Содержание				
		Белок, г/100 г	Жир, г/100 г	Клетчатка, г/100 г	Фосфор, мг/100 г	Калий, мг/100 г
Брянская 11 (St)	Контроль, б/о	33,1	14,0	2,6	1460	1860
	Оптимайз 400, РК	34,0	15,1	2,7	1520	1980
	БиоБеСтА, Ж	34,2	15,7	2,9	1580	2100
Hidaka	Контроль, б/о	33,2	13,6	2,6	1990	2080
	Оптимайз 400, РК	34,1	14,7	2,7	2010	2190
	БиоБеСтА, Ж	34,6	14,7	2,9	2050	2160
А	Контроль, б/о	35,4	11,8	2,9	1890	1870
	Оптимайз 400, РК	36,3	12,9	3,0	1900	1910
	БиоБеСтА, Ж	37,2	12,7	3,2	1960	1970
F	Контроль, б/о	35,7	11,7	3,1	1680	1870
	Оптимайз 400, РК	36,6	12,6	3,2	1710	1990
	БиоБеСтА, Ж	37,1	13,0	3,4	1740	2110
НСР ₀₅ (частных различий)		0,53	0,3	0,32	3,48	3,38
НСР ₀₅ (фактор А)		0,31	0,18	0,19	2,01	1,95
НСР ₀₅ (фактор В)		0,27	0,15	0,16	1,74	1,69

Предпосевная обработка семян достоверно повышала содержание макроэлементов: максимальные значения фосфора (2050 мг/100 г, 40,4 % к контролю) и калия (2190 мг/100 г, 17,7 %) получены на сорте Hidaka при обработке микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж и биопрепаратом Оптимайз 400, РК соответственно. В остальных вариантах содержание фосфора и калия также значительно превышало контроль на 4,1–34,2 % и 0,5–13,4 %.

Глава 5. Экономическая эффективность производства семян сои овощной в зависимости от образцов и предпосевной обработки семян

Ключевыми детерминантами экономической эффективности производства семян овощной сои выступают образец и предпосевная обработка семян (табл. 5).

Таблица 5. Экономическая оценка выращивания сортов и сортообразцов сои в зависимости от обработки семян (среднее за 2022–2024 гг.)

Сорт, сортообразец	Биопрепарат, микробиологическое удобрение	Себестоимость 1 т, руб.	Расчетная прибыль на 1 т, руб.	Расчетная прибыль на 1 га, руб.	Уровень рентабельности, %
Брянская 11 (St)	Контроль, б/о	116413	73587	242101	63
	Оптимайз 100, РК	113247	76753	268635	68
	БиоБеСтА, Ж	101923	88077	332931	86
Hidaka	Контроль, б/о	121734	68266	231422	56
	Оптимайз 100, РК	111848	78152	304011	70
	БиоБеСтА, Ж	99127	90873	381667	92
А	Контроль, б/о	105808	84192	333400	80
	Оптимайз 100, РК	103850	86150	371306	83
	БиоБеСтА, Ж	90337	99663	467419	110
F	Контроль, б/о	110428	79572	297599	72
	Оптимайз 100, РК	106979	83021	341216	78
	БиоБеСтА, Ж	95691	94309	411187	98

Минимальная себестоимость 1 т семян (90337 руб.) достигнута при использовании микробиологического удобрения БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т) на сортообразце А – на 25,8 % ниже максимального значения. Наибольшая расчётная прибыль с 1 га (467419 руб.) и максимальный уровень рентабельности (110 %) обеспечены при предпосевной обработке семян сортообразца А инокулянтом БиоБеСтА, Ж, что превышает контроль на 93,1 % и 47 % соответственно. Сортообразец F с той же обработкой также обеспечил высокую экономическую эффективность: прибыль 411187 руб./га (69,8 % к контролю) и рентабельность 98 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Флуоресцентный анализ выявил сортоспецифичные биохимические профили, коррелирующие с окраской семян, что позволяет эффективно проводить фенотипирование и оценку пищевой ценности сои овощной; полученные данные подтверждают ключевую роль фенольных соединений в механизмах устойчивости к абиотическим стрессам и патогенам.

2. Полное отсутствие клубеньков в контрольном варианте у всех изученных генотипов свидетельствует о дефиците эффективных местных штаммов *Bradyrhizobium japonicum* в почвах исследуемого агроценоза. Это подтверждает, что естественная нодуляция не обеспечивает потребности культуры в биологическом азоте, вследствие чего предпосевная инокуляция семян является не рекомендательным, а обязательным агротехническим приёмом для возделывания сои овощной в Нечернозёмной зоне РФ.

3. Микробиологическое удобрение БиоБеСтА, Ж (*Sinorhizobium fredii*, 1,0 л/т) достоверно превзошло эталон Оптимайз 400, РК (*Bradyrhizobium japonicum*, 1,8 л/т) по активации симбиоза на 21,1–27,7 % (НСР₀₅ = 8,18 %): максимальная нодуляция достигнута у сортообразца А (34,2 клубенька на растение, активность 97,8 %), высокие показатели также у F (32,0 шт.) и Hidaka (31,8 шт.), тогда как биопрепарат Оптимайз 400, РК обеспечил лишь 20,1–22,3 шт. при полном отсутствии клубеньков в контроле; перспективные генотипы (А, F, Hidaka) были на 8,3–29,7 % ниже стандарта Брянская 11, что характеризует их как низкорослые, устойчивые к полеганию формы, максимально реализующие симбиотический потенциал именно при инокуляции штаммом *Sinorhizobium fredii*.

4. Предпосевная обработка семян сои овощной, особенно микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (*Sinorhizobium fredii*, 1,0 л/т), достоверно улучшала морфоструктуру растений: максимальная площадь листьев (1455 см², выше контроля на 27,3 %) и толщина стебля (10,89 мм, выше контроля на 28,6 %) сформированы у сортообразцов F и А, длина главного корня увеличена на 31,2–33,8 %. Перспективные генотипы (А, F, Hidaka) на 8,3–29,7 % ниже стандарта Брянская 11, что повышало их устойчивость к полеганию и пластичность к инокулянтам, тогда как стандарт обеспечивал генетическую стабильность, но меньшую отзывчивость. Эталонный биопрепарат Оптимайз 400, РК оказал умеренное влияние (13,4–20,9 % по площади листьев, 16,7–17,7 % по длине корней).

5. Инокуляция оказала разнонаправленное влияние на формирование репродуктивных органов сои: число боковых побегов достигло 4,04 шт. (выше контроля на 23,2 %), продуктивных узлов – 28,5 шт. (выше контроля на 17,4 %) при обработке биопрепаратом Оптимайз 400, РК, тогда как количество бобов осталось стабильным, достоверно снизившись лишь у слабоадаптивного сорта Hidaka на 7,2–7,9 %; вегетационный период составил 74–81 суток (среднеранняя спелость), за исключением комбинации Hidaka + БиоБеСтА, Ж (83 суток, выше контроля на 9,2 %), что требует корректировки сроков уборки в условиях короткого лета Нечернозёмной зоны.

6. Предпосевная обработка семян сои овощной переориентировала ассимилянты на качество: максимальная масса семян с растения достигнута у сортообразца F с микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (14,35 г, выше контроля на 35,1 %), крупность (M₁₀₀₀) – у сортообразца А с тем же удобрением (169,3 г, выше контроля на 48,8 %); биопрепарат Оптимайз 400, РК показал умеренный эффект (выше контроля на 19,3–41,7 %). Количество семян с растения у перспективных генотипов снизилось на 5,6–12,2 %, что

подтверждает стратегию «качество вместо количества». Максимальное число семян в бобе (3,01 шт., выше контроля на 8,7 %) сформировано у стандарта Брянская 11 с биопрепаратом Оптимаиз 400, РК, тогда как микробиологическое удобрение БиоБеСтА, Ж обеспечило снижение на 0,24–0,32 шт. в бобе у генотипов А, F, Hidaka, что указывает на специфическую совместимость штаммов с сортами.

7. Предпосевная инокуляция достоверно повысила урожайность сои овощной: максимум достигнут у сортообразца А с микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (4,69 т/га, превышение 42,5 % к контролю 3,29 т/га); сортообразец F с тем же удобрением обеспечил 4,36 т/га (выше контроля на 32,5 %). Перспективные генотипы (А, F, Hidaka) превзошли стандарт Брянская 11 на 8,8–22,7 %. Наибольший относительный эффект инокуляция дала у исходно менее продуктивных форм (сортообразец F: выше контроля на 32,5 % при обработке), что подтверждает обязательность инокуляции для полной реализации потенциала новых генотипов в условиях Нечернозёмной зоны.

8. Предпосевная обработка семян, особенно микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (*Sinorhizobium fredii*, 1,0 л/т), достоверно улучшала биохимический профиль: содержание воды (8,8 г/100 г, выше контроля на 41,9 %) и белка (37,1–37,2 г/100 г, выше контроля на 12,1–12,4 %) достигало максимума у сортообразцов А и F. Наблюдалось метаболическое переключение: жир снизился у перспективных генотипов на 2,9–16,4 %, но вырос у стандарта Брянская 11 на 7,9–12,1 %. Аккумуляция минералов усилилась: зольность выше контроля на 30,4–130 % (5,3 г/100 г), фосфор выше контроля на 4,1–40,4 % (2050 мг/100 г), железо выше контроля на 21,3–81,5 % (5,7 мг/100 г), цинк выше контроля до 100 % (3,62 мг/100 г). Микробиологическое удобрение БиоБеСтА, Ж превзошло эталон Оптимаиз 400, РК (*Bradyrhizobium japonicum*, 1,8 л/т) по ключевым показателям при меньшей норме расхода, а выраженная генотипическая дифференциация подтверждает необходимость подбора инокулянта под конкретный сорт.

9. Инокуляция повысила рентабельность за счёт оптимизации соотношения «затраты – урожайность – качество»: при максимальных издержках в варианте А + Оптимаиз 400, РК (447594 руб./га, выше контроля на 16,9 %), наилучшие результаты обеспечила комбинация А + БиоБеСтА, Ж – минимальная себестоимость (90337 руб./т, ниже контроля на 22,4 %), максимальная прибыль (467419 руб./т, выше контроля на 93,1 %) и рентабельность (110 %, выше контроля на 47 %). Сортообразец F с микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж также эффективен: себестоимость 95691 руб./т (ниже контроля на 17,8 %), прибыль 411187 руб./га (выше контроля на 69,8 %), рентабельность 98 % (выше контроля на 35 %).

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. В системе земледелия Центрального района Нечернозёмной зоны РФ, характеризующейся дефицитом местных эффективных штаммов ризобий, критически важным элементом ресурсосберегающей технологии возделывания сои овощной является регламентированная предпосевная обработка семян. Внедрение данного агротехнического приема в технологические карты позволит компенсировать низкую естественную нодуляционную активность почв, оптимизировать азотный режим почвы и обеспечить реализацию генетического потенциала урожайности без увеличения антропогенной нагрузки.

2. Для оптимизации затрат и повышения энергетической эффективности производства сои овощной рекомендуется дифференцированный подход к выбору биопрепарата и микробиологического удобрения. Для большинства сортов и сортообразцов наиболее эффективным является применение микробиологического удобрения БиоБеСтА, Ж (*Sinorhizobium fredii*) в норме 1,0 л/т. Использование данного инокулянта в системе питания растений обеспечивает прибавку урожайности на уровне 32–43 %, снижение себестоимости единицы продукции на 12,4–22,4 % и обладает высокой технологичностью применения благодаря сниженной норме расхода.

3. С целью интенсификации производства и стабилизации валовых сборов в зональных системах земледелия, к внедрению рекомендуются сортообразцы F и A, обладающие высокой отзывчивостью на биологизацию технологии. Предпосевная обработка семян микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж (1,0 л/т) обеспечивает стабильную урожайность изучаемых сортообразцов на уровне 4,36–4,69 т/га. Экономическая эффективность возделывания подтверждается чистой прибылью 411187–467419 руб./га и рентабельностью производства 98–110 %. На основании полученных данных указанные сортообразцы рекомендуются к внедрению в адаптивные агротехнологии.

4. Для оптимизации посевных и товарных качеств семян стандарта Брянская 11 рекомендуется предпосевная инокуляция биопрепаратом Оптимайз 400, РК (*Bradyrhizobium japonicum*, 1,8 л/т). Сорт Hidaka целесообразно возделывать в специализированных технологиях, ориентированных на выпуск функционального сырья с повышенной концентрацией минеральных компонентов. Такая дифференциация технологических операций позволяет максимально реализовать потенциал каждого генотипа в конкретных почвенно–климатических условиях.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В перспективе результаты исследования послужат основой для апробации комбинаций «генотип × инокулянт» в почвенно–климатических подзонах Нечернозёмной зоны РФ с целью разработки дифференцированных систем агротехнических мероприятий; продолжения производственного сортоиспытания перспективных сортообразцов A и F на стабильность, экологическую пластичность и подготовку предложений по их районированию в качестве компонентов адаптивных агротехнологий; разработки элементов ресурсосберегающей технологии, включающих комплексное управление факторами (инокуляция, минеральное питание – P, Mo, регулирование сроков сева), с целью выявления оптимальных агроэкологических параметров для формирования заданного уровня урожайности и качества продукции; организации долгосрочного мониторинга влияния систематического применения биопрепаратов на биологическую активность почв, баланс органического вещества и биогенного азота в севообороте для научного обоснования экологически безопасных и почвосберегающих систем земледелия.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научная публикация, входящая в международную базу цитирования

1. Study on ontogenetic changes in the content of macro components (proteins, oil and sugar) of vegetable soybean (*Glycine max* L. merr.) seeds / D. R. Shafigullin, M. S. Gins, V. F. Pivovarov, M. E. Nowar, Y. P. Tukuser, **F. E. Mullo Panoluisa** // Research on Crops. – 2020. – Vol. 21, No. 4. – P. 769–774. – DOI 10.31830/2348-7542.2020.118. – EDN XMWWHM.

Научные публикации, входящие в RSCI

2. **Мульо Панолуиса, Ф. Э.** Влияние инокуляции микробиологическими препаратами на морфологические признаки и урожайность сои овощной / Ф. Э. Мульо Панолуиса, Е. В. Романова, К. А. Саласар Флорес // Овощи России. – 2024. – № 4. – С. 99–104. – DOI 10.18619/2072-9146-2024-4-99-104. – EDN WZQIXR.

3. **Мульо Панолуиса, Ф. Э.** Оценка исходного материала сои овощной *Glycine max* L. Merr. в Московской области / Ф. Э. Мульо Панолуиса, Н. А. Семенова, Е. В. Романова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2023. – Т. 18, № 4. – С. 531–540. – DOI 10.22363/2312-797X-2023-18-4-531-540. – EDN LQOTQG.

Научные работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

4. Особенности накопления белка, масла и углеводов у *Glycine max* L. при различных условиях выращивания / **Ф. Э. Мульо Панолуиса**, П. Кезимана, Е. В. Романова, М. С. Гинс

// Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2025. – № 3(65). – С. 34–38. – DOI 10.32935/2221-7312-2025-65-3-34-38. – EDN EADRKS.

5. **Мульо Панолуиса, Ф. Э.** Агрономические показатели сои овощной при выращивании в Московской области / Ф. Э. Мульо Панолуиса, Е. В. Романова // Картофель и овощи. – 2025. – № 3. – С. 30–34. – DOI 10.25630/PAV.2025.90.75.002. – EDN AAYIMW.

6. Основные характеристики сои овощной (*Glycine max* L. Merr.) / **Ф. Э. Мульо Панолуиса**, Д. Ш. Дьюф, Н. А. Семенова, Е. В. Романова // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2023. – № 1(55). – С. 33–38. – DOI 10.32935/2221-7312-2023-55-1-33-38. – EDN JNIPGO.

7. Влияние различных доз удобрений на хозяйственно значимые признаки сои сорта Лира / Д. Ш. Дьюф, **Ф. Э. Мульо Панолуиса**, П. Кезимана, Е. В. Романова // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2022. – № 1(51). – С. 38–40. – DOI 10.32935/2221-7312-2022-51-1.

Научные работы, опубликованные в региональных изданиях, материалах симпозиумов и конференций

8. Анализ состава семян овощной сои с применением метода автофлуоресценции и тандемной масс-спектрометрии / Ю. Н. Зинченко, **Ф. Э. Мульо Панолуиса**, В. А. Кузнецова, М. П. Разгонова // Plantae & Fungi: Сборник тезисов III молодёжной всероссийской научной конференции с международным участием, Владивосток, 25–29 сентября 2023 года. – Владивосток: Ботанический сад–институт Дальневосточного отделения РАН, 2023. – С. 47–48. – EDN VWKYTV.

9. **Мульо Панолуиса, Ф. Э.** Морфологические признаки коллекционного материала сои овощной при выращивании в Московской области / Ф. Э. Мульо Панолуиса, Е. В. Романова // Инновационные процессы в сельском хозяйстве: сборник статей XVI Международной научно–практической конференции, Москва, 25–26 апреля 2024 года. – Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2024. – С. 359–362. – EDN RXTFLO.

10. **Мульо Панолуиса, Ф. Э.** Взаимосвязи между хозяйственно ценными признаками сои овощной при выращивании в Московской области / Е. В. Романова, **Ф. Э. Мульо Панолуиса**, П. Кезимана // Инновационные процессы в АПК: сборник статей XVII Международной научно–практической конференции, Москва, 23–24 апреля 2025 года. – Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2025. – С. 485–489.

АННОТАЦИЯ

Мульо Панолуиса Фредди Эдуардо

Обоснование совершенствования технологии возделывания сои в условиях Нечерноземной зоны РФ

В диссертации обобщены результаты исследований (2022–2024 гг., Московская область) по оценке эффективности предпосевной обработки семян сои овощной (*Glycine max* L.) азотфиксирующим биопрепаратом и микробиологическим удобрением. Изучено влияние штаммов *Bradyrhizobium japonicum* (Оптимайз 400, РК, 1,8 л/т) и *Sinorhizobium fredii* (БиоБеСтА, Ж, 1,0 л/т) на четыре сорта и сортообразца (Брянская 11 (St), Hidaka, А, Г). Установлена сортоспецифичность реакции генотипов на инокуляцию: микробиологическое удобрение БиоБеСтА, Ж достоверно повышало нодуляцию (до 97,8 %), фитомассу (36,7 %), урожайность (42,5 %) и качество семян (белок 12,4 %, зола 130 %, микроэлементы 21–100 %). Выявлено отсутствие эффективных местных штаммов в почве, что обосновывает обязательность предпосевной обработки семян в Нечернозёмной зоне. Метод флуоресцентного анализа позволил детализировать биохимический профиль семян и связать его с пищевой ценностью и стрессоустойчивостью. Экономическая оценка показала максимальную рентабельность (110 %) и прибыль (467419 руб./га) при

комбинации сортообразца А с микробиологическим удобрением БиоБеСтА, Ж. Доказано, что инокуляция способствует перераспределению ассимилянтов в пользу крупности и биохимической полноценности семян. Результаты рекомендуют использование *Sinorhizobium fredii* (1,0 л/т) как технологически и экономически предпочтительного решения для возделывания сои овощной в условиях Нечернозёмной зоны РФ.

ABSTRACT

Freddy Eduardo Mulyo Panoluisa

Justification for improving the technology of soybean cultivation in the conditions of the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation

The dissertation summarizes the results of research (2022–2024, Moscow Region) on assessing the effectiveness of pre-sowing treatment of vegetable soybean seeds (*Glycine max* L.) with a nitrogen-fixing biopreparation and microbiological fertilizer. The influence of *Bradyrhizobium japonicum* (Optimize 400, RK, 1.8 l/t) and *Sinorhizobium fredii* (BioBeStA, Zh, 1.0 l/t) strains on four varieties and variety samples (Bryanskaya 11 (St), Hidaka, A, F) was studied. The variety-specificity of the genotype response to inoculation was established: the microbiological fertilizer BioBeStA, Zh significantly increased nodulation (up to 97.8 %), phytomass (36.7 %), yield (42.5 %) and seed quality (protein 12.4 %, ash 130 %, microelements 21–100 %). The absence of effective local strains in the soil was revealed, which justifies the necessity of pre-sowing seed treatment in the Non-Chernozem zone. The fluorescence analysis method made it possible to detail the biochemical profile of seeds and link it to nutritional value and stress resistance. The economic assessment showed the maximum profitability (110 %) and income (RUB 467,419/ha) with a combination of variety A with the microbiological fertilizer BioBeStA, Zh. It has been proven that inoculation promotes the redistribution of assimilants in favor of the size and biochemical value of seeds. The results recommend the use of *Sinorhizobium fredii* (1.0 l/t) as a technologically and economically preferable solution for cultivating vegetable soybeans in the conditions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation.