

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ СОИ МЕТОДАМИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

К.Ю. ЗУБАРЕВА, кандидат биологических наук, ORCID ID: 0000-0002-7083-6730

А.В. БЕЛОЗЕРОВА, аспирант, ORCID ID: 0009-0007-8420-6792

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

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

E-mail: office@vniizbk.ru

В статье изложены результаты исследований 2022-2023 гг. по изучению сопряженности некоторых физиологических характеристик состояния растений сои с показателями портативного фотометра SPAD-502Plus, который позволяет провести неинвазивную экспресс-диагностику в оперативном режиме непосредственно в полевых условиях.

В работе показано, что при применении микробиологических препаратов в технологии возделывания сои увеличиваются показания портативного фотометра при проведении диагностических исследований, которые положительно корреляционно связаны с работой фотосинтетического аппарата листьев (с содержанием хлорофилла а, $r=0,45$) и симбиотического аппарата корней (с нитрогеназной активностью клубеньков, $r=0,40$).

Совместное применение микробиологических препаратов в технологии возделывания сои положительно повлияло на симбиотическую азотфиксирующую способность корневой системы растений: количество клубеньков в среднем увеличилось на 30,3 %, сырая масса клубеньков - на 36,7 %, нитрогеназная активность клубеньков - на 54 %, и на состояние пигментного комплекса: содержание хлорофиллов в листьях в среднем по сортам по отношению к контролю возросло на 11,98 %.

Ключевые слова: соя, экспресс-диагностика, фотометрия, фотосинтетические пигменты, симбиотический аппарат.

Для цитирования: Зубарева К.Ю., Белозерова А.В., Хрыкина Т.А. Оценка физиологического состояния растений сои методами фотометрической диагностики. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 1(49):28-36. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-1-28-36

ASSESSMENT OF PHYSIOLOGICAL STATE OF SOYBEAN PLANTS BY PHOTOMETRIC DIAGNOSTICS METHODS

K.Yu. Zubareva, A.V. Belozerova, T.A. Khrykina

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS

Abstract: *The article presents the results of research on studying the conjugation of some physiological characteristics of soybean plants with the indicators of the portable photometer SPAD-502Plus, which allows carrying out non-invasive rapid diagnostics in operational mode directly in the field conditions.*

The paper shows that the application of the feeding system in soybean cultivation technology increases the photometer readings in diagnostic studies, which are positively correlated with the work of photosynthetic apparatus of leaves (with the content of chlorophyll a, $r=0,45$) and symbiotic apparatus of roots (with nitrogenase activity of nodules, $r=0,40$).

The joint application of microbiological preparations in soybean cultivation technology had a positive effect on the symbiotic nitrogen-fixing ability of the root system of plants: the number of nodules on average increased by 30.3 %, the crude mass of nodules - by 36.7 %, the nitrogenase activity of nodules - by 54 %, and on the state of the pigment complex: the content of chlorophylls in leaves on average for varieties in relation to the control increased by 11.98 %.

Keywords: soybean, rapid diagnosis, photometry, photosynthetic pigments, symbiotic apparatus.

Обеспечение растений элементами питания является одним из главных факторов формирования высоких урожаев качественного состава [1]. При этом необходимо учитывать, что данный фактор выступает как контролируемый и регулируемый в процессе выращивания сельскохозяйственных культур в расчете на потенциальный или планируемый уровень урожайности [2-4].

Грамотно проведенные научно обоснованные технологические мероприятия по оптимизации продукционного процесса позволяют управлять и при необходимости интенсифицировать процессы, связанные с синтезом пластических веществ и формированием урожая [5]. По интенсивности обмена, протекающего в растениях, можно проводить оценку их физиологического состояния с последующей корреляцией, если это необходимо, техногенных факторов питания. Самые простые и доступные характеристики, помимо биометрических, обеспеченности растений разными уровнями минерального питания являются связи с интенсивностью фотосинтетической функции листового аппарата. До недавнего времени диагностика в этом направлении основывалась на визуальных и химических методах (тканевая диагностика по В.В. Церлингу, листовая и стеблевая диагностика и др.). Последние достаточно трудоемки и затратны по времени и применению средств для проведения анализа, а также требуют определенных знания и квалификацию исполнителей. В настоящее время как ученые, так и сельхозпроизводители отдают предпочтение инструментальным фотометрическим экспресс-методам, благодаря появлению научно-технических возможностей максимальной автоматизации, а в производственных масштабах, и в некоторой степени роботизации процессов определения нуждемости посевов культурных растений в оптимизации минерального питания.

Многие исследователи констатируют тот факт, что активность основных физиологических реакций растительного организма отражается на содержании хлорофиллов в биомассе. Фотометрическая диагностика основана на использовании зависимости уровня зеленой пигментации листьев и обеспеченности растений минеральным питанием, то есть на регистрации поступления в растение элемента питания и включения его в синтез органических веществ.

Цель исследований – изучить возможность применения фотометрии в режиме реального времени в посевах сои с целью контроля физиологического состояния растений в конкретных почвенно-климатических условиях в мелкоделяночных опытах с применением микробиологических препаратов.

Материал и методы исследования

Работу выполняли в Федеральном научном центре зернобобовых и крупяных культур в 2022–2023 гг. на окультуренной темно-серой лесной среднесуглинистой почве. Агрохимическая характеристика почвы в среднем за годы проведения исследований по результатам отбора почвенных проб в весенне-летний период представлена в таблице 1.

В качестве объекта исследований использовали культуру сои районированных сортов: Мезенка, Лидер 1, Осмонь, Зуша, Орлея. В опыте изучали предпосевную обработку семян и подкормку вегетирующих растений баковой смесью микробиологических препаратов, в состав которых входят различные группы полезной почвенной микрофлоры, активно развивающие свою жизнедеятельность в ризосферной части (*Bacillus megaterium* OPP-31, *Azospirillum zea* OPN-14, *Pseudomonas aureofaciens* 2391Д, *Montierella alpine* F-1134), на диагностические показатели физиологического состояния растений.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы (0-20 см) опытного участка

Подвижный фосфор P ₂ O ₅ , мг/100 гр (ГОСТ 54650-2011)	Подвижный калий K ₂ O, мг/100 гр (ГОСТ 54650-2011)	Нитратный азот N-NO ₃ , мг/кг (ГОСТ 26951-86)	Аммонийный азот N-NH ₄ , мг/кг (ГОСТ 26489-85)	pH солевой вытяжки (ГОСТ 26423-85)	Массовая доля органического вещества / гумуса, % (ГОСТ 26213-2011)
12,7-23,5	9,2-12,6	9,1-11,1	5,2-7,26	5,11-4,87	5,06-4,62

Схема опыта: 1 - контроль (без обработок семян и посевов); 2 - предпосевная обработка семян баковой смесью Organit P, 3 л/т + Organit N, 3 л/т + Pseudobacterin 3, 3 л/т + Biodux, 3 мл/т (за день до посева) + две листовые подкормки в фазу 1-3 тройчатых листьев и в период бутонизации баковой смесью Organit P, 2 л/га + Organit N, 2 л/га + Pseudobacterin 3, 2 л/га + Biodux, 4 мл/га.

Organit P – микробиологический препарат, содержащий споры штамма *Bacillus megaterium* OPP-31, 1*10⁹ КОЕ/мл, улучшающий минеральное питание растений за счет биодоступности фосфора и калия, стимулирующий корнеобразование и рост растений за счет продуцирования поли-бета-гидромасляной кислоты и других ростстимулирующих веществ.

Organit N – микробиологический препарат, содержащий клетки и биологически активные метаболиты штамма *Azospirillum zeae* OPN-14, 1*10⁹ КОЕ/мл, улучшающий азотное питание сельскохозяйственных культур за счет способности данных свободноживущих бактерий самостоятельно фиксировать атмосферный азот и переводить его в аммонийные формы, более доступные для потребления растениями, улучшающие динамику ростовых процессов культурных растений за счет синтеза ряда веществ фитогормональной природы (биологически активных веществ).

Pseudobacterin 3 – микробиологический препарат (биофунгицид), содержащий живые клетки штамма *Pseudomonas aureofaciens* 2391Д, 2*10⁹ КОЕ/мл, обеспечивающий защиту растений от широкого спектра грибных и бактериальных фитопатогенов за счет синтеза антибиотиков феназинового ряда, не вызывающих резистентность у фитопатогенов; стимулирующих рост растений за счет бактериальных клеток, участвующих в синтезе индолил - 3-уксусной кислоты, интенсифицирующей рост корневой системы.

Biodux – биологический регулятор роста содержащий биологически активный комплекс полиненасыщенных жирных кислот низшего почвенного гриба штамма *Montierella alpine* F-1134, стимулирующий развитие корневой системы и генеративных органов, повышающий устойчивость к абиотическим стрессам, усиливающий усвоение элементов минерального питания, за счет активизации на молекулярном уровне и сигнальные системы защиты, а также гены, осуществляющие контроль за ростовыми характеристиками, фитогормонами и факторами дифференцировки и развития тканей растения (<https://bionovatic.ru/>).



Рис. 1. Посевы сои разных сортов с применением микробиологических препаратов на опытном поле ФНЦ ЗБК в 2023 году (29 июня, День поля в Орловской области)

Сою высевали по пару. Семена перед посевом искусственно не заражали (инокулировали) симбиотическими азотфиксирующими бактериями. Эксперимент был заложен на делянках с учетной площадью 10 м² в четырехкратной повторности (рис. 1). Метод размещения делянок – рендомизированный. Норма высева – 0,6 млн. всхожих семян на гектар. Способ посева широкорядный (ширина междурядий 0,45 м). Агротехника – в основном принятая для зоны, предпосевная обработка семян и подкормки вегетирующих растений осуществлялись с применением ручного аккумуляторного опрыскивателя Forte ОГ-12.



Рис. 2. Применение портативного фотометра в диагностике

Для проведения фотометрической диагностики растений сои использовали портативный фотометр SPAD-502Plus. Диагностическое обследование проводили в фазу цветения - период активной максимальной биологической фиксации атмосферного азота благодаря симбиозу с ризобактериями после проведения подкормок растений микробиологическими препаратами. Фотометрию осуществляли при снятии показаний непосредственно с листовых пластинок растений в полевых условиях (рис. 2). Замеры производили на нормально развитых листьях, не поврежденных внешними биотическими и абиотическими стресс-факторами. Прибором показания снимали на 10 листьях второго верхнего яруса на каждой делянке опыта. В SPAD-502Plus используется в качестве резульативного показателя так называемый нормализованный дифференцированный вегетационный индекс (NDVI), значения которого рассчитаны на основе количества света, прошедшего через лист в двух диапазонах волн, в которых поглощение различно: красный спектр электромагнитного отражения солнечного или искусственного света (где поглощение высокое и не зависит от содержания каротина) и инфракрасный (где поглощение чрезвычайно низкое). NDVI – это отношение разности величин инфракрасного и красного спектров к их сумме [6]. Для сравнения фотометрических показателей состояния растений с результатами химического метода одновременно осуществляли качественное и количественное определение содержания фотосинтетических пигментов в листьях сои.

Экстракцию фотосинтетических пигментов из объектов исследования проводили 95% этиловым спиртом в темноте в течении 24 часов. Оптическую плотность рабочего раствора этаноловых вытяжек (липофильного экстракта), содержащих сумму зеленых и желтых пигментов, определяли на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ при двух длинах волн (665 и 649 нм). Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс для этанола. Содержание хлорофиллов пересчитывали в мг/г воздушно-сухого веса зеленой биомассы.

Определение нитрогеназной активности симбиотических азотфиксирующих бактерий проводили «ацетиленовым» методом, основанном на восстановлении ацетилена до этилена [7], на портативном хроматографе ФГХ-1 с пламенным ионизационным детектором по времени выхода каждого газа.

Корреляционный анализ проведен с помощью использования программы Excel.

Результаты и их обсуждение

Вносимые микробиологические препараты при возделывании сои (опытный вариант) выступают как мобилизаторы питания, так как, входящие в состав микроорганизмы являются участниками процессов биодоступности фосфора, калия (*Bacillus megaterium* OPP-31) и азота с предшествующей фиксацией его из атмосферы (*Azospirillum zeaе* OPN-14), а также как регуляторы роста, так как в результате своей жизнедеятельности синтезируют и продуцируют ряд веществ фитогормональной природы (биологически активные вещества) (<https://bionovatic.ru/>), являющихся факторами дифференцировки и развития тканей растения (например, индолил-3-уксусной кислоты, поли-бета-гидромасляной кислоты и других ростстимулирующих веществ). Таким образом, направленное воздействие корневого и листового питания влияет на внутренние процессы образования органических веществ в растениях.

Фотометрическое изучение посевов выявило определенные различия в показаниях прибора по уровню зеленой пигментации биомассы растений, обусловленные разной обеспеченностью растений питанием.

На рис. 3 четко прослеживается характер зависимости культуры и сорта от применения системы питания. Наибольшими показателями портативного фотометра в фазу цветения характеризуется сорт Мезенка – 37,8-42,4 усл. ед. На контрольных растениях (без обработки семян и листовых подкормок) значения показаний прибора фиксируются в среднем по сортам на 8% ниже, чем на опытных.

Одновременно с анализом показаний портативного фотометра мы проводили химические анализы по определению фотосинтетических пигментов в листьях (рис. 4, табл. 2 и 3).

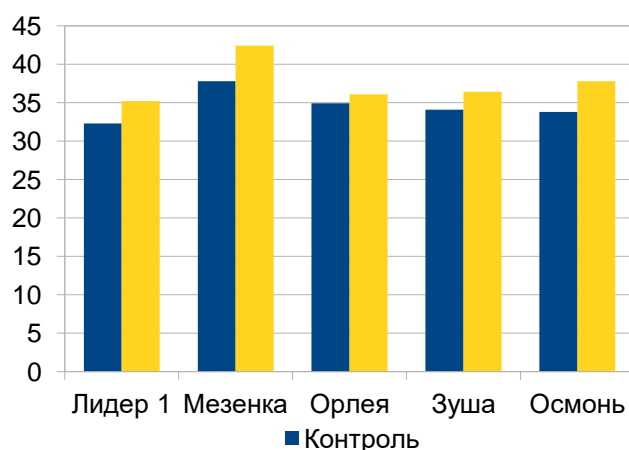


Рис. 3. Зависимость показаний фотометра (усл.ед.) от вариантов опыта и сорта в фазе цветения сои (множественные сравнения средних свидетельствует об отсутствии статистически значимых различий)

Вначале были проведены качественные испытания растворенной пробы с идентификацией ее состава по хроматограмме. На рисунке 4 представлена хроматографическая пластинка с контрольными образцами (у опытных образцов характер идентификации аналогичен).

Применяемые агроприемы оказывают влияние на состояние пигментного комплекса, более высокая физиологическая активность фотосинтетического аппарата наблюдается на варианте опыта с применением микробиологических препаратов, что, в свою очередь,

отразилось на состоянии биоценоза в целом. Содержание хлорофиллов *a* и *b* в листьях сои составило в среднем по сортам за 2022-2023 гг. 6,25 и 1,68 мг/г сухого вещества соответственно. При этом, содержание хлорофиллов *a* и *b* на контрольном варианте (5,39 и 1,54 мг/г сухого вещества) было на 0,55 и 0,28 мг/г сухого вещества соответственно меньше, чем на варианте с применением микробиологических препаратов нового поколения. В целом, на опытном варианте содержание хлорофиллов в листьях сои в среднем по сортам по отношению к контролю увеличилось на 11,98% (табл. 2).



Рис. 4. Хроматограмма разделения фотосинтетических пигментов листьев сои в фазу цветения: первый снизу – хлорофилл *b*, над ним – хлорофилл *a*, затем – каротин

Таблица 2

Влияние микробиологических препаратов на содержание пигментов в листьях сои в фазу цветения, в мг/г сухого вещества (2022/2023 гг.)

Варианты опыта*	Количество			Сумма <i>Chl a+b</i>	Отношение <i>Chl a/b</i>
	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	Каротиноиды*		
Лидер 1					
Контроль	5,21/5,0	1,41/1,65	-/1,11	6,62/6,65	3,69/3,03
Предпосевная обработка семян + 2 листовые подкормки	5,39/5,96	1,70/1,95	-/1,17	7,09/7,91	3,17/3,06
Мезенка					
Контроль	5,20/5,48	1,27/1,56	-/1,20	6,47/7,04	4,09/3,51
Предпосевная обработка семян + 2 листовые подкормки	6,06/5,7	1,32/1,62	-/1,18	7,38/7,32	4,59/3,52
Орля					
Контроль	5,35/5,3	1,52/1,6	-/1,28	6,87/6,9	3,52/3,31
Предпосевная обработка семян + 2 листовые подкормки	5,63/6,0	1,43/1,88	-/1,26	7,06/7,88	3,94/3,19
Зуша					
Контроль	4,95/6,91	1,22/2,08	-/0,62	6,17/8,99	4,06/3,32
Предпосевная обработка семян + 2 листовые подкормки	5,63/7,02	1,66/3,27	-/1,01	7,29/10,29	3,39/2,15
Осмось					
Контроль	5,64/4,93	1,5/1,55	-/1,22	7,14/6,48	3,76/3,18
Предпосевная обработка семян + 2 листовые подкормки	6,11/5,89	1,53/1,83	-/1,35	7,64/7,72	3,99/3,22

Примечание к таблице 2: в 2022 г не определяли.

Дополнительное внесение микробиологических препаратов в баковой смеси в предпосевной обработке семян и в листовых подкормках повлияло на активизацию почвенной микрофлоры, а именно аборигенной расы соеципифичных симбиотических азотфиксирующих бактерий, находящихся в почве, так как инокуляцию семян перед посевом *Bradyrhizobium japonicum* не проводили (рис. 5).



Рис. 5. Симбиоз растений сои с азотфиксирующими ризобактериями (июль 2023 г.).
Фото авторов

Необходимо отметить, что применяемый комплекс «полезных» микроорганизмов в предпосевной обработке семян и в листовых подкормках положительно повлиял на симбиотическую азотфиксирующую способность корневой системы растений сои. Симбиотические показатели на опытных вариантах в среднем за 2 года по сортам возросли в сравнении с контролем: количество симбиотических азотфиксирующих клубеньков на корнях растений сои на 17,82 шт или на 30,3%, сырая масса клубеньков на 0,29 г или на 36,7% (табл. 3), нитрогеназная активность клубеньков на 1,95 мкг N₂/мл/ч/1 растение или на 54%. При таких показателях можно однозначно утверждать, что микроорганизмы, входящие в состав применяемых микробиологических препаратов, создают консорциум с *Bradyrhizobium japonicum*, обитающими в почве (в данном случае), благотворно влияющий на активную деятельность последних в посевах сои.

Таблица 3

Симбиотические показатели растений в фазу цветения у сортов сои под влиянием микробиологических препаратов (2022/2023 гг.)

Варианты	Сорта				
	Лидер 1	Мезенка	Орля	Зуша	Осмонь
Количество клубеньков, шт/растение					
Не обработанные семена и растения (контроль)	37,7/43,0	24,0/39,6	29,0/52,3	24,7/66,7	19,3/73,0
Предпосевная обработка семян+2 листовые подкормки	56,3/76,7	28,3/64,2	30,0/109,3	40,3/95,3	39,7/105,3
Масса клубеньков, г/растение					
Не обработанные семена и растения (контроль)	0,63/0,82	0,41/0,42	0,36/0,43	0,27/0,75	0,23/0,61
Предпосевная обработка семян+2 листовые подкормки	1,27/1,11	0,51/0,76	0,57/0,83	0,47/1,03	0,61/1,13

В таблице 4 отражена зависимость показаний оптического датчика SPAD-502Plus с количественным содержанием фотосинтетических пигментов в листьях и показателями состояния симбиотического аппарата на корнях сои, наличие и активность последнего играет непосредственную роль в обеспеченности растений азотом.

Корреляционные взаимосвязи между показаниями фотометрического прибора SPAD-502Plus и исследуемым фактором (2022-2023 гг.)

Биологические показатели растений сои	Показания фотометра, усл. ед.
Содержание хлорофилла <i>a</i> , в мг/г сухого вещества	0,45
Содержание хлорофилла <i>b</i> , в мг/г сухого вещества	-0,07
Количество клубеньков, шт/раст	0,13
Сырая масса клубеньков, г/раст	-0,08
Нитрогеназная активность, мкг N ₂ /мл/ч/1 растение	0,40

Была установлена степень положительного влияния между показаниями фотометрического прибора SPAD-502Plus и показателями «содержание хлорофилла *a*» и «нитрогеназная активность», $r = 0,45$ и $0,40$ соответственно. Отмечена слабая положительная теснота связей с количеством образованных на корневой системе растений сои симбиотических азотфиксирующих клубеньков ($r = 0,13$). В целом по совокупности анализируемых образцов зафиксирована очень слабая отрицательная корреляционная взаимосвязь между показаниями SPAD-502Plus и сырой массой клубеньков, а также с содержанием в листьях хлорофилла *b*, $r = -0,08$ и $-0,07$ соответственно.

Заключение

При применении микробиологических препаратов, в состав которых входили в том числе микроорганизмы, участвующие в биодоступности элементов питания, в предпосевной обработке семян и листовых подкормках вегетирующих растений сои показания фотометра фиксируются на 8% или на 3,0 усл. ед. больше, чем на контроле (варианте без применения микробиологических препаратов). Наряду с этим увеличивается активность фотосинтезирующей системы и бобово-ризобияльного симбиоза растений. Установлены положительные корреляционные взаимосвязи между показаниями фотометра и исследуемыми факторами, которые связаны с активностью многих процессов в растительных организмах, а именно в нашем случае с нитрогеназной активностью симбиотических клубеньков на корнях, а также с содержанием хлорофилла *a* в листьях растений сои, на уровне 0,4 и 0,45 соответственно. То есть оптические свойства растений отражают его физиологическое состояние.

Для количественных характеристик интенсивности процессов, протекающих в растениях, в дальнейшем необходимо разрабатывать таблицы сопряженности с основными или интересующими конкретного исследователя физиологическими параметрами состояния растительных организмов и показателями неинвазивной экспресс-диагностики.

Литература

- Осипов А.И., Якушев В.П., Якушев В.В. История научных исследований в агрохимии и перспективы применения удобрений в России // Агрохимический вестник. – 2020. – № 2. – С. 73-80. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10028.
- Белоус И.Н., Малякко Г.П., Шаповалов В.Ф. и др. Влияние систем удобрений и пестицидов на продуктивность плодосменного севооборота и агрохимические свойства дерново-подзолистой песчаной почвы // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 4 – (44). – С. 187-195. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-187-195.
- Кузикеев Ж.В., Борадулина В.А., Мусалитин Г.М. и др. Формирование продуктивности и качества зерна сортов ярового ячменя в зависимости от норм высева и уровня азотного питания в лесостепи Алтайского края // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 3. – С. 74-78. DOI: 10.53859/02352451-2022-36-3-74.
- Глазова З.И., Сироткина Е.Н. Влияние некоторых агроприемов на урожайность сортов чечевицы // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 4 (44). – С. 90-95. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-90-95.

5. Каракотов С.Д., Прянишников А.И., Косолапов В.М. и др. Методологические подходы оценки сортов озимой пшеницы в системе экологических испытаний АО "Щелково Агрохим" // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 1. – С. 9-15. DOI: 10.30850/vrsn/2021-1-9-15.
6. Афанасьев Р.А., Литвинский В.А., Ворончихина И.Н. Спектрометрическое обеспечение диагностики азотного питания растений и идентификации азота органических и минеральных удобрений // Плодородие. – 2019. – № 4. – С. 26-29. DOI: 10.25680/S19948603-2019-109-09.
7. An Q., Dong Y., Wang W., Li Y., J. Li. Constitutive expression of the nifA gene activates associative nitrogen fixation of *Enterobacter gergoviae* 57 7, an opportunistic endophytic diazotroph // Journal of Applied Microbiology. – 2007. – V. 103. – Pp. 613-620.

References

1. Osipov A.I., Yakushev V.P., Yakushev V.V. History of Scientific Research in Agrochemistry and Prospects of Fertilizer Application in Russia // *Agrokhimicheskii vestnik*. 2020. no. 2. – Pp. 73-80. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10028.
2. Belous I.N., Malyavko G.P., Shapovalov V.F. et al. Influence of fertilizer and pesticide systems on the productivity of fruit rotation and agrochemical properties of sod-podzolic sandy soil // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2022. no. 4 (44). – Pp.187-195. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-187-195.
3. Kuzikeev Zh. V., Boradulina V. A., Musalitin G. M. et al. Formation of productivity and grain quality of spring barley varieties depending on seeding rates and level of nitrogen nutrition in the forest-steppe of Altai Krai // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022. V. 36. no. 3. – Pp. 74-78. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_3_74.
4. Glazova Z.I., Sirotkina E.N. Influence of some agronomic practices on the yield of lentil varieties // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2022. no. 4 (44). – Pp. 90-95. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-4-90-95.
5. Karakotov S.D., Pryanishnikov A.I., Kosolapov V.M. et al. Methodological approaches to evaluation of winter wheat varieties in the system of environmental trials of JSC "Shchelkovo Agrochem" // *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2021. no. 1. – Pp. 9-15. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/9-15.
6. Afanas'ev R.A., Litvinskii V.A., Voronchikhina I.N. Spectrometric support of diagnostics of nitrogen nutrition of plants and identification of nitrogen of organic and mineral fertilizers // *Plodorodie*. 2019. no. 4. – Pp. 26-29. DOI: 10.25680/S19948603.2019.109.09.
7. An Q., Dong Y., Wang W., Li Y., J. Li. Constitutive expression of the nifA gene activates associative nitrogen fixation of *Enterobacter gergoviae* 57 7, an opportunistic endophytic diazotroph // Journal of Applied Microbiology. – 2007. – V. 103. – Pp. 613-620.