

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ АЗОТА УДОБРЕНИЯ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТАМИ*

А.А. Завалин¹, академик РАН, Д. Ньямбосе¹, Л.С. Чернова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, М.Е. Баганова², С.Н. Сапожников¹, кандидат сельскохозяйственных наук, М.А. Ипполитов¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а
E-mail: zavalin.52@mail.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии 196608, Санкт-Петербург -Пушкин, ш. Подбельского, 3

На темно-серой лесной почве оценивали использование яровой пшеницей ¹⁵N азота удобрения при инокуляции семян новыми микробными биопрепаратами. Применение изучаемого приема повышало массу зерна на РК-фоне на 25...42%. Прибавки от инокуляции препаратами на основе штаммов diaзотрофов Ч-13 и V 167 были равноценны и составляли 78...97 г/м². В варианте с V 417 прибавка достигала 132 г/м² и находилась на уровне использования N45 (143 г/м²). В сочетании с внесением N45 максимальной в опыте эффективность характеризовался биопрепарат на основе штамма Ч-13. При использовании биопрепаратов на РК-фоне накопление N в урожае возрастало на 2,33...2,64 г/м², на NPK-фоне – на 1,33...1,70 г/м². В вариантах с биопрепаратами урожаи на 20% формировались за счет биологического азота, при этом наибольшее его накопление (24,8%) происходило при использовании V 417. Максимальная в опыте доля ¹⁵N (23,7%) в урожае отмечена при внесении N90. При использовании биопрепаратов в растениях накапливается около 8,5% «экстра»-N, наибольшее его содержание (11,5...12,1%) зафиксировано при внесении Naa. Азот минерального удобрения преимущественно накапливается в зерне (95...96%) и только 4...5% – в соломе яровой пшеницы. При внесении N45 и N90 растения используют соответственно 46 и 42% азота удобрения, применение биопрепаратов повышает величину этого показателя до 51...53%. В почве закрепляется 33...36% от внесенной дозы ¹⁵N, при использовании биопрепаратов – до 30%. Потери ¹⁵N достигают 33...36%, при внесении биопрепаратов они снижаются до 17...19%. Минимальное в опыте накопление азота удобрения в растениях (42%), максимальное закрепление в почве (36%) и потери (23%) наблюдали при внесении N90.

USE OF NITROGEN FERTILIZER BY SPRING WHEAT WHEN INOCULATING SEEDS WITH BIOLOGICAL PREPARATIONS

Zavalin A.A.¹, Nyambose D.¹, Chernova L.S.¹, Baganova M.E.², Sapozhnikov S.N.¹, Ippolitov M.A.¹

¹All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 127434, Moscow, ul. Pryanishnikova, 31a
E-mail: zavalin.52@mail.ru

²All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology 196608, Sankt- Peterburg -Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3

In dark gray forest soil, it was evaluated using spring wheat ¹⁵N nitrogen fertilizer when seeds were inoculated with microbial biopreparations. Seed inoculation adds 25-42% to the mass of substances on the RK background, additives from the inoculation of preparations based on diazotrophic strains Ch-13 and V 167 are equivalent, and from V 417, the use of N45 was higher. With the entry of N45, the operational work of a biological product based on the Ch-13 strain will soon begin. When collecting biological preparations on the RC background, the accumulation of N in the crop increases by 2.33-2.64 g/m², and on the RC background – by 1.33-1.70 g/m². When harvesting biological products, the crop is formed by biological nitrogen by 20%, while its maximum accumulation (24.8%) is carried out using the biological product V 417. The maximum share of ¹⁵N (23.7%) in the crop was obtained with the introduction of N90. About 8.5% of «extra»-N is collected in plants during the collection of biological products, its maximum accumulation (11.5-12.1%) was obtained during the transfer of Naa. Nitrogen of high concentration is absorbed in grain (95-96%) and only 4-5% – in spring wheat straw. When applying N45 and N90, plants use 46 and 42% of phosphorus nitrogen, the use of biological products adds this figure to 53-51%. In the soil, 33-36% of the applied dose of ¹⁵N is oxidized; when using biological preparations, this figure reaches 30%. Losses of ¹⁵N reach 33-36%, with the use of biological products, the average figure is up to 17-19%. Minimal accumulation of nitrogen in plants (42%), maximum fixation in the soil (36%) and loss (23%) upon detection of N90.

Ключевые слова: азотное удобрение, изотоп азота, яровая пшеница, использование азота, закрепление в почве, потери азота удобрения.

Key words: nitrogen fertilizer, nitrogen isotope, spring wheat, nitrogen use, soil fixation, fertilizer nitrogen losses

В последние годы использование азотных и других минеральных и органических удобрений не обеспечивает оптимального баланса азота в земледелии страны [1, 2, 3]. Поэтому осуществляется поиск дополнительных источников питания растений, среди которых важное место отводится микробным препаратам [4, 5]. Для этого согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [6] предусмотрено увеличение использования в земледелии биологизированных форм удобрений. Применение биопрепаратов эндофитных микроорганизмов увеличивает использование растениями азота минерального удобрения на 8...12%, однако слабо влияет на иммобилизацию его в почве, которая

приводит к включению этого элемента в циклические минерализационно-ремобилизационные превращения [7, 8]. Применение биопрепаратов активизирует почвенную микрофлору, положительно влияет на ферментативный статус растений [9, 10, 11], ограничивает развитие патогенной микрофлоры [9, 10, 12]. Использование микробных препаратов, созданных на основе консорциума бактерий, в агротехнологиях выращивания зерновых культур снижает отрицательное действие пестицидов на полезные виды микроорганизмов [13], уменьшает пораженность растений патогенами, что создает перспективы для освоения ресурсосберегающего экологически безопасного растениеводства, в том числе

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22-26-00105

органического земледелия [14, 15, 16]. Обеспеченность растений азотом служит ключевым фактором формирования урожая и качества зерна яровой пшеницы, которое регулируется внесением азотных удобрений и применением биопрепаратов [5, 17]. В этой связи необходима оценка действия этих факторов химизации и биологизации на усвоение растениями азота удобрений и его потоки в агроэкосистеме [18].

Цель исследований – оценить использование яровой пшеницей азота удобрения при инокуляции семян биопрепаратами на темно-серой лесной почве с применением стабильного изотопа ¹⁵N.

Методика. Работу проводили в микрополевым опыте в пластиковых сосудах площадью 0,0625 м² на Опытной станции ВНИИ агрохимии (Московская область) в 2020 и 2021 гг. В июне и июле 2021 г. выпало избыточное количество осадков (194 и 224 мм при среднемноголетней норме 63 и 78 мм соответственно), температура воздуха в конце мая и начале июня достигала 30...33 °C. В некоторых декадах апреля и июля 2020 г. количество атмосферных осадков превышало среднемноголетнюю норму в 2,5...3,5 раза. В целом вегетационный период 2020 г. оказался более благоприятным, чем 2021 г., однако действие изучаемых факторов на растения яровой пшеницы было идентичным в оба года, что позволяет рассматривать результаты эксперимента в среднем за 2 года.

В опыте высевали среднеспелый сорт яровой пшеницы Злата, который характеризуется быстрым ростом после всходов. Растения устойчивы к полеганию, характеризуются засухоустойчивостью. Сорт слабее стандарта поражается бурой ржавчиной и мучнистой росой и на уровне стандарта – септориозом. Средняя урожайность составляет около 3,1 т/га, максимальная – 5,4 т/га.

Набивку сосудов почвой проводили в начале мае. Темно-серая лесная почва перед закладкой опыта имела следующую агрохимическую характеристику: гумус (по Тюрину) – 2,9...3,0 %; рН_{KCl} – 5,9...6,2; подвижные формы P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову) – соответственно 120...132 и 131...140 мг/кг; Нг (по Каппену) – 1,12...1,24 мг-экв/100 г. По степени агрохимической окультуренности некарбонатных почв [2], в частности по содержанию подвижного фосфора и калия, она относится к средне окультуренной, реакция почвенной среды – оптимальная.

В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, которую вносили в дозе 45 и 90 кг д.в./га, или 4,5 и 9,0 г/м², что составляет соответственно 0,2812 г и 0,563 г N/сосуд. Для оптимизации фосфорно-

калийного питания растений фоном вносили двойной суперфосфат и хлористый калий в дозах по 45 кг/га действующего вещества или по 0,28 г P₂O₅ и K₂O на сосуд. Изучали эффективность применения двух новых биопрепаратов. Биопрепарат V 417 создан на основе штамма эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* V 417. Он обладает выраженной фунгицидной активностью против спектра фитопатогенных грибов родов *Fusarium* и *Alternaria*; бактерицидной активностью против фитопатогенных бактерий *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*, *Pseudomonas syringae*, ростстимулирующим эффектом по отношению к различным сельскохозяйственным культурам (яровая пшеница, кукуруза, сахарная свекла, картофель) [9]. Второй биопрепарат создан на основе штамма эндофитной бактерии *Bacillus amyloliquefaciens* V 167. Он обладает фунгицидной активностью против фитопатогенных грибов *Alternaria alternata*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium sporotrichioides* и фитостимулирующим эффектом по отношению к различным сельскохозяйственным культурам (редис, горох, кукуруза, салат, вико-овсяная смесь, яровая пшеница). В качестве стандарта использовали препарата Экстрасол [7], созданный на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13. Он обладает высокой конкурентоспособностью по отношению к другим почвенным микроорганизмам. Способен синтезировать в процессе своего роста вещества, которые подавляют развитие фитопатогенных грибов и бактерий – возбудителей болезней, благодаря активной колонизации бактериями штамма улучшает развитие корневых волосков и увеличивают их поглотительную способность фосфора, а также усиливает поглощение растениями элементов питания из удобрений, повышает устойчивость растений к пониженным температурам и засухе. Все изучаемые препараты способны фиксировать атмосферный азот. Инокуляцию семян проводили в день посева из расчета 600 г на гектарную норму посева, в качестве прилипателя использовали обезжиренное молоко. Расположение сосудов рендомизированное, повторность 4-х кратная. Для изучения использования растениями азота удобрения применяли меченую (¹⁵N) в обеих группах аммиачную селитру (¹⁵NH₄⁺¹⁵NO₃⁻) с обогащением 47,5 ат.%. Закладку опыта, отбор проб почвы и растений проводили согласно методике [19, 20], в растительных и почвенных образцах N_{общ} определяли с использованием элементного анализатора методом сухого озоления по Дюма, изотопный состав азота – на масс-спектрометре Delta V Advantage.

Табл. 1. Продуктивность яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Зерно			Солома		
	масса	прибавка		масса	прибавка	
		г/м ²	%		г/м ²	%
РК-фон (Ф)	312	–	–	492	–	–
Ф+биопрепарат Ч-13	390	78	25	539	47	9
Ф+ биопрепарат V 167	409	97	31	513	21	4
Ф+биопрепарат V 417	444	132	42	544	52	11
Ф+N45	455	143	45	575	83	17
Ф+N45+биопрепарат Ч 13	480	168	53	555	63	13
Ф+N45+биопрепарат V 167	465	153	49	555	63	13
Ф+N45+биопрепарат V 417	450	138	44	580	88	18
Ф+N90	484	172	55	529	37	8
P, %	4,5			5,4		
HCP ₀₅	41			85		

Табл. 2. Потребление азота растениями яровой пшеницы в фазе полной спелости (в среднем за 2 года)

Вариант	Общий вынос, г/м ²	В том числе азот, % от выноса			
		удобрения (¹⁵ N)	почвы		ассоциативный
			всего	в том числе «экстра»	
РК-фон (Ф)	10,17	–	100,0	–	–
Ф+биопрепарат Ч-13	12,50	–	81,3	–	18,7
Ф+ биопрепарат V 167	12,81	–	79,4	–	20,6
Ф+биопрепарат V 417	13,52	–	75,2	–	24,8
Ф+N45	13,82	14,9	85,1	11,5	–
Ф+N45+биопрепарат Ч 13	15,15	15,1	76,1	9,0	8,7
Ф+N45+биопрепарат V 167	15,52	15,4	73,6	8,1	10,9
Ф+N45+биопрепарат V 417	15,30	15,3	75,1	8,6	9,6
Ф+N90	15,86	23,7	76,3	12,1	–
P, %	2,5				
НСР ₀₅	0,8				

Статистическую обработку результатов проводили дисперсионным методом с использованием программы StatVIUA, достоверность различий оценивали по F-критерию Фишера.

Результаты и обсуждение. Продуктивность яровой пшеницы определяли условия азотного питания растений, связанные с применением азотного удобрения и инокуляции семян изучаемыми биопрепаратами (табл. 1). При урожае на РК-фоне 312 г/м² внесение N45 увеличило массу зерна на 45 %, при удвоении дозы она возросла на 55 %, при этом различия по массе зерна между дозами азота были не достоверны. Инокуляция семян биопрепаратами увеличила массу зерна, по отношению в РК-фону, на 25-42%. Прибавки от биопрепаратов на основе штаммов Ч-13 и V 167 находились на одном уровне. В варианте с V 417 прибавка была достоверно выше, чем при использовании стандартного препарата, и соответствовала внесению под яровую пшеницу N45.

При посеве инокулированными семенами и внесении азотного удобрения (N45) масса зерна яровой пшеницы изменялась, по сравнению с применением изучаемых биопрепаратов на фоне РК, не существенно и уступала варианту с использованием азотного удобрения в дозе N90. При этом наибольшей эффективностью в сочетании с внесением N45 характеризовался стандартный биопрепарат, изготовленный на основе штамма Ч-13.

При использовании азотного удобрения и инокуляции семян биопрепаратами, наряду с ростом массы зерна, отмечали увеличение массы соломы с 492 до 580 г/м², прибавка достигала 17...18 % (см. табл. 1). Максимальной в опыте она было при внесении под яровую пшеницу удобрения в дозе N45 или при посеве семенами, инокулированными препаратом V417, в варианте с при-

менением N45. Использование других биопрепаратов в сочетании с N45 повышало массу соломы, по отношению к РК-фону, на 13 %.

Накопление азота в урожае яровой пшеницы определяется массой зерна и соломы и концентрацией этого элемента. С увеличением их массы накопление азота возрастало с 10,17 до 15,86 г/м², а максимальный в опыте рост отмечен при внесении азотного удобрения в дозе N90. При инокуляции семян биопрепаратами накопление азота в урожае увеличилось, по сравнению с РК-фоном, на 2,33...2,64 г/м², при этом оно было равноценным по всем биопрепаратам. В вариантах с внесением под яровую пшеницу N45 в сочетании с инокуляцией семян биопрепаратами накопление азота в урожае соответствовало применению N90, что свидетельствует об улучшении условий азотного питания растений [4, 7].

Применение изотопа ¹⁵N [20] позволило выявить источники азота в формировании урожая яровой пшеницы (табл. 2). На РК-фоне оно происходило с участием только азота почвы. При использовании биопрепаратов в результате ассоциативной азотфиксации примерно 20 % урожая формировалось за счет биологического азота, при этом максимальное в опыте его накопление в яровой пшенице (24,8 %) отмечено в варианте с биопрепаратом V 417. При внесении Naa урожай формировался на 15 % за счет удобрения, использование биопрепаратов не изменяло относительную величину этого показателя. Максимальная в опыте доля ¹⁵N (23,7 %) зафиксирована при внесении под пшеницу N90. Из-за увеличения минерализации почвенного азота при применении Naa [5, 20] растения использовали для формирования урожая при инокуляции семян биопрепаратами около 8,5 % «экстра»-N. Наибольшее его поступление в рас-

Табл. 3. Распределение накопленного азота в товарной и побочной продукции яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Накопление азота удобрения, почвы и ассоциативного ¹		Накопление ¹⁵ N удобрения ²	
	зерно	солома	зерно	солома
Ф + N45	10,06 / 73	3,77 / 27	1,98 / 96	0,09 / 4
Ф + N45 + биопрепарат Ч-13	10,96 / 72	4,19 / 28	2,18 / 95	0,11 / 5
Ф + N45 + биопрепарат V 167	11,33 / 73	4,19 / 27	2,28 / 95	0,11 / 5
Ф + N45 + биопрепарат V 417	11,29 / 74	4,00 / 26	2,24 / 96	0,09 / 4
Ф + N90	11,59 / 73	4,27 / 27	3,45 / 92	0,32 / 8

¹в числителе – г/м², в знаменателе – % от поглощенного азота удобрения, почвы и ассоциативного;
²в числителе – г/м², в знаменателе – % от поглощенного азота удобрения

Табл. 4. Баланс ^{15}N при возделывании яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Накоплено в растениях		Иммобилизация в почве		Потери	
	г/м ²	% от дозы удобрения	г/м ²	% от дозы удобрения	г/м ²	% от дозы удобрения
Ф + N45	2,07	46	1,45	33	0,99	21
Ф + N45 + биопрепарат Ч-13	2,29	51	1,47	33	0,74	17
Ф + N45 + биопрепарат V 167	2,40	53	1,36	30	0,74	17
Ф + N45 + биопрепарат V 417	2,34	52	1,3	30	0,83	19
Ф + N90	3,77	42	3,21	36	2,03	23

тения (11,5...12,1%) отмечено при внесении под яровую пшеницу Naa.

Основная доля почвенного и биологического азота накапливается (72...74%) в зерне (табл. 3), в соломе его значительно меньше (26...28%). Меченый (^{15}N) азот удобрения также преимущественно накапливается в зерне (92...96%). С увеличением дозы азотного удобрения происходит перераспределение накопления ^{15}N в пользу соломы. Его доля возрастает с 4...5% в вариантах с N45 до 8% при внесении N90.

Эффективность использования азота в агроценозе характеризует состояние баланса ^{15}N [5, 20]. Чем больше растения потребляют азот на формирование урожая и чем меньше его неучтенные потери, относящиеся преимущественно к газообразным, тем устойчивее функционирует агроценоз. Определение статей баланса ^{15}N показывает (табл. 4), что при внесении на РК-фоне азотного удобрения в дозах N45 и N90 растения использовали на формирование урожая соответственно 46 и 42% от дозы N. Применение биопрепаратов повышало величину этого показателя на 5...7%. Иммобилизация (закрепление) азота удобрения в почве составляет 30...36% от внесенной дозы и возрастает по мере повышения дозы азотного удобрения. Применение новых биопрепаратов (V 167 и V 417) обеспечивает тенденцию к снижению закрепления азота удобрения в почве. В результате большего потребления растениями ^{15}N на формирование урожая при использовании биопрепаратов в сочетании с дозой N45 газообразные потери азота удобрения снижаются с 21 до 17...19%, максимальные потери (23% от внесенной дозы) отмечены при использовании под яровую пшеницу удобрения в дозе N90.

Таким образом, инокуляция семян биопрепаратами на основе штаммов ассоциативных диазотрофов увеличивает массу зерна яровой пшеницы, по отношению в РК-фону, на 25...42%. Прибавки от применения биопрепаратов на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13 и штамма *Bacillus amyloliquefaciens* V 167 равноценны, от использования *Bacillus subtilis* V 417 она достоверно выше, чем при использовании стандартного препарата, и сравнима с внесением N45. При посеве инокулированными семенами в сочетании с применением N45 масса зерна яровой пшеницы остается на уровне использования только биопрепаратов и уступает урожаю, выращенному при внесении N90. Масса соломы яровой пшеницы возрастает при инокуляции семян биопрепаратом V 417 как отдельно, так и на фоне N45, от использования других она увеличивается на 13% только в сочетании с использованием азотного удобрения.

От применения биопрепаратов накопление азота в урожае яровой пшеницы на РК-фоне увеличивается на 2,33...2,64 г/м², на НРК-фоне – на 1,33...1,70 г/м², что равноценно внесению под культуру азотного удобрения в дозе N45. При использовании биопрепаратов урожай

на 20% формируется за счет биологического азота, при этом максимальное в опыте его накопление (24,8%) достигается при инокуляции V 417. При внесении Naa урожай на 15% формируется за счет удобрения, использование биопрепаратов не влияет на величину этого показателя. Максимальная доля ^{15}N (23,7%) в урожае яровой пшеницы отмечена в варианте с применением N90. В результате внесения Naa увеличивается минерализация почвенного азота, при использовании биопрепаратов в растениях накапливается около 8,5% «экстра»-N, наибольшая величина этого показателя (11,5...12,1%) отмечена при внесении под яровую пшеницу только Naa. Азот минерального удобрения преимущественно накапливается в зерне (95...96% от поглощенного) и только 4...5% в соломе яровой пшеницы. С увеличением дозы азотного удобрения доля накопления ^{15}N в зерне снижается, а в соломе возрастает. При применении N45 и N90 на РК-фоне растения используют на формирование урожая соответственно 46 и 42% от внесенного азота удобрения, применение биопрепаратов на фоне N45 увеличивает его накопление до 51...53% от внесенной дозы. В почве закрепляется 33...36% от внесенной дозы ^{15}N , использование для инокуляции биопрепаратов снижает величину этого показателя до 30%. Потери ^{15}N при внесении под яровую пшеницу Naa достигают 33...36%, применение биопрепаратов сокращает их до 17...19%. Минимальное в опыте накопление азота удобрения в растениях (42%), максимальное его закрепление в почве (36%) и потери (23%) наблюдаются при внесении N90.

Литература

1. Кудеяров В.Н. Оценка питательной деградации пахотных почв России // Вестник Российской академии наук. 2015. Т. 85. № 9. С. 771-775.
2. Шафран С.А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агробиология. 2020. № 6. С. 14-21.
3. Мониторинг основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв в Центрально-Черноземном районе России / Р.В. Некрасов, С.В. Лукин, Д.А. Куницын и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 4-10.
4. Эндифитные бактерии древесных растений как основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства / В.К. Чеботарь, А.В. Щербаков, Н.Н. Щербакова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 648-654. doi: 10.15389/agrobiology.2015.5.648rus
5. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: Из-во ВНИИА, 2022. 256 с. doi: 10.256880/WNIA.2019/12/76/105
6. Указ Президента РФ от 01.12.2016 N 642 (ред. от 15.03.2021) «О Стратегии научно-технологического

- развития Российской Федерации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/ (дата обращения: 29.08.2022).
7. Эффективность применения эндофитных биопрепаратов и азотного удобрения / А.А. Алферов, Л.С. Чернова, А.А. Завалин и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 21-24.
 8. Endophytic colonization of *Vitisvinifera* L. by a plant growth-promoting bacterium, *Burkholderia* sp. strain PsJN / S. Comrant, B. Reiter, A. Sessitsch, et al. // Appl. Environ. Microbiol. 2005. Vol. 71. P. 1685-1693.
 9. Здоровая почва – условие устойчивости и развития агро- и социосфер (проблемно-аналитический обзор) / М.С. Соколов, В.М. Семенов, Ю.Я. Спиридонов и др. // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2020. № 1. С. 12-21. doi: 10.31857/S0002332920010142.
 10. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия // Сельскохозяйственная биология. 2011. №3. С. 112-115.
 11. Влияние полифункциональных биопрепаратов на микробиоту чернозёма обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья / В.И. Фаизова, С.В. Цховребов, В.Я. Лысенко и др. // Земледелие. 2021. № 3. С. 4-8.
 12. Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Оценка эффективности биологических протравителей против семенной и почвенной инфекции на озимой пшенице // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 43-48.
 13. Оценка консорциума микроорганизмов с высокой биологической активностью и устойчивостью к пестицидному стрессу / Т.Ю. Мотина, И.А. Дектярева, А.Я. Давлетишина и др. // Агротехнический вестник. 2019. № 1. С. 46-54. doi: 10.24411/0235-2516-2018-10076.
 14. Авилова А.В. Каковы перспективы органического земледелия в России? // Вестник российской академии наук. 2016. Т. 86. № 3. С. 237-243. doi: 10.7868/S0869587316030038.
 15. Савченко И.В. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 527-531. doi: 10.31857/S0869-5873895527-531.
 16. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия / А.П. Кожемяков, Ю.В. Лактионов, Т.А. Попова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 3. С. 369-376. doi: 10.15389/agrobiology.2015.3.369rus.
 17. Kizilkaya R. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains // Ecological Engineering. 2008. Vol. 33(2). P. 150-156.
 18. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в Российской Федерации // Плодородие. 2016. № 5 (92). С. 28-32.
 19. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии / под общ. ред. А.А. Завалина. М.: РАСХН, 2000. 82 с.
 20. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агроконсалт, 1999. 296 с.

Поступила в редакцию 29.09.2022

После доработки 21.10.2022

Принята к публикации 08.11.2022