

УДК 579.64:631.8:631.55:633.11

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ АССОЦИАТИВНОЙ АЗОТФИКСАЦИИ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

© 2022 г. О. Ф. Хамова¹, Н. Н. Шулико^{1,*}, Е. В. Тукмачева¹

¹Омский аграрный научный центр 644012 Омск, просп. Королева, 28, Россия

*E-mail: shuliko@anc55.ru

Поступила в редакцию 29.03.2022 г.

После доработки 11.04.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

В полевых опытах “СибНИИСХ” (в настоящее время “Омский АНЦ”) в 2014–2017 гг. с яровой мягкой пшеницей сорта Омская 36 изучили действие биологических препаратов на рост и развитие растений, величину урожая и качество растениеводческой продукции, размеры вовлечения дополнительного количества азота в агроценоз в зависимости от уровня плодородия почвы, погодных условий вегетационного периода. Установлено положительное влияние бактеризации семян при минимизации обработки почвы на ее биологические и агрохимические свойства. Применение биопрепаратов способствовало увеличению численности агрономически важных групп микроорганизмов: нитрифицирующих бактерий, фосфатмобилизаторов, снижало численность почвенных грибов, а вместе с этим и вероятность заболеваний растений. Прибавка урожайности пшеницы за годы исследования составила 1.5–1.6 ц/га или 7–9% к контролю. Чистый доход при применении биопрепаратов увеличился на 639 руб./га, уровень рентабельности составил 69–70% при 60% в контроле. Потребление азота атмосферы растениями пшеницы составило в среднем за 2014–2016 гг. при инокуляции семян пшеницы Ризоагрином 11–16, БиоВайсом – 8–10 кг/га.

Ключевые слова: биопрепараты, микроорганизмы, биологическая активность, нитратный азот, азотфиксация, продуктивность, яровая пшеница.

DOI: 10.31857/S0002188122090083

ВВЕДЕНИЕ

В условиях южной лесостепной зоны Омского Прииртышья все шире распространяются ресурсосберегающие технологии обработки почвы [1, 2]. Замена отвальной обработки поверхностными (минимизация) приводит к увеличению засоренности полей и дифференциации пахотного слоя по плодородию, что негативно влияет на эффективное плодородие и азотный режим почв. Оставление стерни и соломы расширяет соотношение С : N в поверхностном слое почвы и приводит к дефициту нитратного азота [3, 4]. Отсутствие оборота пласта ухудшает фитосанитарную ситуацию и способствует накоплению фитопатогенов в почве. В этой связи, по выражению академика РАН В.И. Кирюшина, “минимизация обработки почвы невозможна без химизации”, т.е. без применения пестицидов и внесения азотных удобрений [5].

Однако в настоящее время применение минеральных удобрений и пестицидов в сельскохозяйственном производстве является довольно за-

тратным агроприемом. В этой связи более рационально использование биологического азота, источником которого являются микроорганизмы ассоциативной азотфиксации в составе биопрепаратов комплексного действия для инокуляции семян небобовых растений [6].

Азотфиксация в почве связана с прижизненными выделениями растениями богатых энергией, доступных для микроорганизмов углеводов и органических кислот, продуктов фотосинтеза растений, положительно влияющих на жизнедеятельность почвенной микрофлоры. Корневые диазотрофы способствуют улучшению питания растений на 10–45%. По данным предыдущих исследований [7, 8], эффект от инокуляции в условиях Омского Прииртышья составляет от 6 до 30 кг д.в. N/га. Следовательно, необходимо искать пути усиления ассоциативной азотфиксации в агроценозах [9].

Увеличение роли ассоциативной азотфиксации в ризосфере растений связано с инокуляцией семян возделываемых культур активными штам-

Таблица 1. Биологическая активность чернозема выщелоченного в зависимости от применения биопрепаратов (2014–2016 гг.)

Вариант	Бактерии, растущие на МПА, млн КОЕ/г	Микроорганизмы, растущие на КАА, млн КОЕ/г	Олигонитрофилы, млн КОЕ/г	Мобилизующие фосфаты, млн КОЕ/г	Нитрификаторы, тыс. КОЕ/г	Грибы, тыс. КОЕ/г	Целлюлозоразрушающие, тыс. КОЕ/г	Каталаза, см ³ О ₂ /мин/г	Уреаза, мг NH ₃ /г	Инвертаза, мг инвертного сахара/г	Разложение целлюлозы, %	Суммарная биологическая активность, %
2014 г.												
Контроль	43.4	37.2	151	166	2.56	61.6	173	1.32	0.783	20.0	47.1	100
БиоВайс	42.0	36.8	161	146	2.95	52.3	194	1.32	0.793	19.9	53.9	101
Ризоагрин	37.7	32.3	152	200	2.61	62.9	163	1.34	0.82	19.7	56.1	101
2015 г.												
Контроль	47.3	31.4	133	118	2.67	122	114	1.35	0.707	12.5	54.1	100
БиоВайс	41.1	31.1	156	153	4.31	218	137	1.38	0.732	13.3	67.5	117
Ризоагрин	48.8	34.8	131	171	4.54	110	166	1.36	0.730	13.4	64.2	115
2016 г.												
Контроль	29.5	28.7	131	64.9	1.68	83.6	66.6	1.28	0.949	16.7	56.5	100
БиоВайс	50.4	53.0	172	104	1.98	60.5	68.3	1.37	0.970	16.3	56.1	116
Ризоагрин	39.8	40.3	143	125	2.55	45.0	90.3	1.33	1.034	16.6	63.3	116

мами азотфиксирующих микроорганизмов, что способствует сохранению почвенного плодородия, усилению вклада биологического азота в питание зерновых, благоприятно влияет на азотный баланс почв [10]. В настоящее время для практики сельского хозяйства на основе ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов созданы биопрепараты комплексного действия, которые используют в виде инокулянтов различных сельскохозяйственных культур, а также для опрыскивания посевов [11].

В этой связи, цель работы – изучение влияния препаратов на основе высокоэффективных штаммов азотфиксаторов на биологическую активность почвы, продуктивность возделываемой пшеницы и размеры азотфиксации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория проведения исследования – южная лесостепная зона Омской обл., опытное поле Омского АНЦ с преобладанием среди почвенного покрова черноземов выщелоченных с содержанием гумуса в пахотном слое 6.8–7.0%. Количество нитратного азота в годы исследования 2014–2017 гг. по шкале Гамзикова для слоя 0–20 см перед посевом

классифицировалось как низкое и очень низкое, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – высокое. Учитывая низкое содержание в почве азота нитратов, вносили аммиачную селитру в дозе N30.

Исследование проводили с почвой под посевом мягкой яровой пшеницы среднераннего сорта Омская-36 селекции Омского АНЦ. Сорт обладает высокой потенциальной урожайностью в сочетании с засухоустойчивостью.

Микробиологические препараты на основе ассоциативных азотфиксаторов (БиоВайс производства ООО “Планта-Плюс”, г. Томск и Ризоагрин производства ВНИИСХМ г. Санкт-Петербург–Пушкин) применяли для инокуляции семян пшеницы согласно рекомендациям разработчиков.

Аналитические исследования почвы, определение общего азота в растениях пшеницы проводили общепринятыми микробиологическими и агрохимическими методами [12–14].

Агрометеорологические условия в 2015–2016 гг. сложились благоприятно для роста и развития зерновых (ГТК 1.08–1.09). Лето 2014 г. было засушливым, ГТК был равен 0.68. Вегетационный

Таблица 2. Содержание азота нитратов в ризосфере пшеницы (мг/кг) при инокуляции семян и обработке посевов БиоВайсом, 2014–2016 г.

Вариант	Кущение	Колошение	Налив зерна
Контроль	3.0	0.3	0.8
Инокуляция	6.6	0.5	0.1
Инокуляция + обработка в кущение	10.9	0.1	0.6

период 2017 г. был умеренно засушливым, ГТК в течение лета менялся от 0.24 до 1.24. Дожди, прошедшие в июле, спасли растения от засухи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из определяющих факторов функционирования агроценозов является влага. В засушливом 2014 г. существенных различий в количестве микроорганизмов между вариантами опыта с применением биопрепаратов и контролем не обнаружено. Разница между вариантами составляла от 3–4 до 15–21%. В этих пределах несколько увеличилась под влиянием препарата БиоВайс численность нитрификаторов, целлюлозоразрушающих микроорганизмов, снизилось количество почвенных грибов, в том числе фитопатогенов. Активность определяемых ферментов была на уровне контроля. Под влиянием биопрепаратов возросла целлюлозолитическая активность почвы – на 11–19% к контролю. В целом суммарная биологическая активность вариантов опыта составляла 100–101% (табл. 1).

В 2015–2016 гг., характеризующихся более значительным увлажнением вегетационных перио-

дов (ГТК > 1), общая численность микроорганизмов в ризосфере пшеницы при инокуляции семян биопрепаратами возрастала в варианте с препаратом БиоВайс на 25 и 50%, с Ризоагрином – на 19 и 37% соответственно относительно контроля. Разница в сравнении с контролем была более значительной, чем в 2014 г. В 2015 г. под влиянием биопрепаратов существенно, на 61–70% увеличилось количество нитрификаторов, на 30–45% – фосфатмобилизующих бактерий, на 19 и 45% усилилась целлюлозолитическая активность почвы.

В 2016 г. в варианте с препаратом БиоВайс при увеличении общей численности бактерий в ризосфере пшеницы на 50% к контролю, количество грибов уменьшилось на 28%. Аналогичную закономерность отметили в варианте с Ризоагрином: общая численность микроорганизмов увеличилась на 37% относительно контроля, количество почвенных грибов уменьшилось на 46%. Среди определенных групп бактерий при применении БиоВайса на 61% к контролю увеличилось количество нитрификаторов, на 40% – фосфатмобилизующих бактерий. При использовании для инокуляции пшеницы Ризоагрина численность этих видов бактерий возросла в большей степени по отношению к контролю – на 52 и 92% соответственно.

В среднем за 2014–2016 гг. в вариантах с инокуляцией семян яровой пшеницы препаратами БиоВайс и Ризоагрин отмечено увеличение суммарной биологической активности почвы ризосферы на 9–12% относительно контроля (рис. 1).

В вариантах опыта с применением биопрепаратов в почве отмечено более высокое в сравнении с контролем содержание азота нитратов в фазе кущения пшеницы – в 2 раза. При опрыскива-

Таблица 3. Фитотоксичность чернозема выщелоченного под посевом пшеницы при применении биопрепарата БиоВайс (ризосфера) (2016 г.)

Вариант	Кущение		Колошение		Налив зерна	
	длина корня, см					
	см	% к контролю	см	% к контролю	см	% к контролю
Чистая вода	4.69	–	4.69	–	4.69	–
Контроль	3.79	–19	5.62	20	6.29	34
Инокуляция	6.20	32	5.44	16	7.01	49
Инокуляция + обработка в кущение	6.86	46	6.21	32	7.41	58
Инокуляция + обработка в кущение + выход в трубку	5.35	14	4.34	–7	8.41	79
Инокуляция + обработка по всходам, кущение, выход в трубку	5.87	26	8.33	78	6.43	37

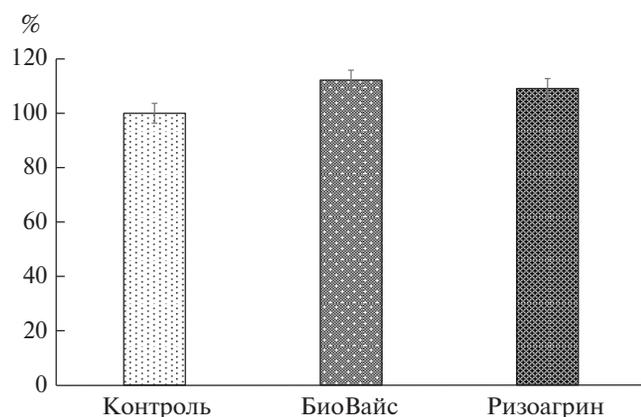


Рис. 1. Биологическая активность почвы ризосферы пшеницы в зависимости от применения биопрепаратов, 2014–2016 гг.

нии посевов пшеницы в этот период препаратом БиоВайс количество азота нитратов превышало контроль в 3 раза. В течение вегетационного периода содержание $N-NO_3$ в почве снижалось вследствие выноса его культурой во всех вариантах опыта (<5 – очень низкое, согласно шкале обеспеченности почв нитратным азотом в слое 0–20 см [3]) (табл. 2).

Токсикоз почв обусловлен в значительной мере накоплением токсических веществ, образуемых микроорганизмами, принадлежащими к различным систематическим группам. Токсические свойства почв проявляются в подавлении роста растений и микроорганизмов. Токсичность почвенной вытяжки вариантов опыта определяли с помощью биотеста по проращиванию тест-куль-

туры редиса. Обычно берутся мелкие семена, обладающие небольшим запасом питательных веществ и более подверженные влиянию внешней среды. Токсичной считается вытяжка из почвы, вызывающая угнетение развития проростков и корней не менее, чем на 20% [15]. При возделывании пшеницы и обработке БиоВайсом не только семян, но и растений, по отношению к контролю (чистой воде) общая токсичность почвы не была обнаружена. Биологическая токсичность почвы, когда длина проростков редиса опытных вариантов сравнивалась с почвенным контролем, также отсутствовала (табл. 3).

Критерием эффективного плодородия является урожайность возделываемой культуры. В 2014–2017 гг. при применении бактериализации семян получена прибавка 1.5–1.6 ц зерна/га по отношению к контролю. Чистый доход от использования препаратов ассоциативной азотфиксации был равен в среднем 639 руб./га, при уровне рентабельности 70% (рис. 2, табл. 4).

Имея контрольный вариант, в котором азотфиксации не происходило, можно рассчитать потребление культурой фиксированного микроорганизмами азота воздуха по разности. Полученное количество фиксированного азота – не общий размер азотфиксации, ведь расчеты основываются на данных анализа растений, поэтому азот, фиксированный микроорганизмами, но не потребленный культурой или возвращенный в почву с опадом и корневыми выделениями, не может быть учтен [16].

В годы исследования за счет ассоциативной азотфиксации дополнительно к почвенному азо-

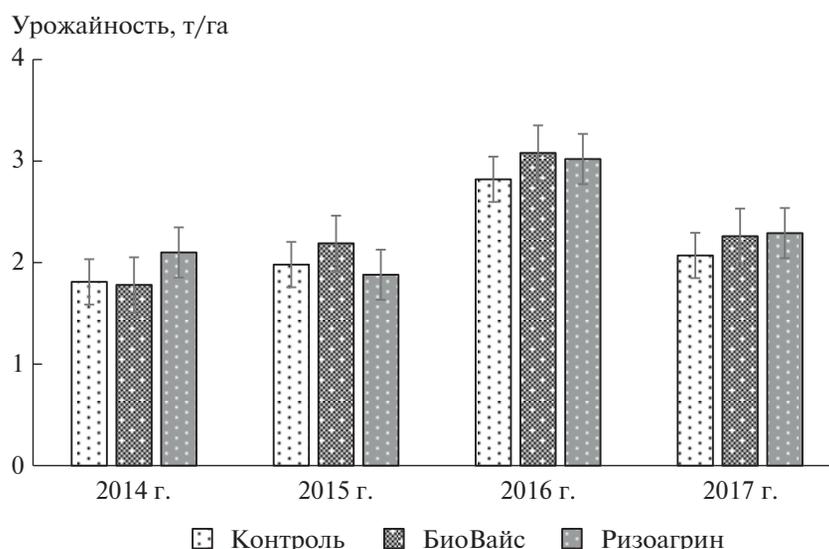


Рис. 2. Влияние биопрепаратов комплексного действия на урожайность зерна яровой пшеницы (2014–2017 гг.), т/га.

Таблица 4. Экономическая эффективность применения биопрепаратов БиоВайс и Ризоагрин (2014–2017 гг.)

Показатель	Варианты		
	контроль	БиоВайс	Ризоагрин
Урожайность, т/га	2.17	2.32	2.33
Общая прибавка, т/га	–	0.15	0.16
Затраты на средства химизации (гербициды, удобрения), руб./га	932.74	932.74	932.74
Затраты на биопрепараты, руб.	–	37	44
Затраты общие, руб.	6099.09	6136.09	6180.09
Себестоимость 1 ц продукции, руб.	281.06	264.49	265.24
Себестоимость дополн. продукции, руб.	–	396.73	424.38
Цена реализации, руб.	4500.00	4500.00	4500.00
Стоимость товарной продукции, руб.	9765.00	10440.00	10485.00
Чистый доход, руб.	3665.91	4303.91	4304.91
Уровень рентабельности, %	60	70	70

ту, используемому растениями, получено 11–16 кг N/га при инокуляции семян пшеницы Ризоагрином и 8–10 кг/га – при инокуляции БиоВайсом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в засушливых условиях вегетационных периодов 2014 и 2017 гг. предпосевная обработка семян пшеницы биопрепаратами комплексного действия БиоВайс и Ризоагрин повышала стрессоустойчивость растений к засухе, что оказало положительное влияние на численность микроорганизмов ризосферы и продуктивность культуры. Применение бактериализации семян способствовало увеличению численности агрономически важных групп микроорганизмов, снижало численность почвенных грибов, а вместе с этим и вероятность заболеваний растений. Токсичности почвы ризосферы при использовании биопрепаратов не обнаружено. Потребление азота атмосферы растениями пшеницы составило в среднем за 2014–2017 гг. при инокуляции семян пшеницы Ризоагрином 11–16 кг/га, БиоВайсом – 8–10 кг/га. Прибавка урожайности пшеницы в среднем за годы исследования составила 1.5–1.6 ц/га (6.9–7.4%) к контролю. Чистый доход при применении биопрепаратов увеличился на 639 руб./га, уровень рентабельности составил 69–70% при 60% в контроле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холмов В.Г., Юшкевич Л.В. Интенсификация и ресурсосбережение в земледелии лесостепи Западной Сибири. Омск: ОмГАУ, 2006. 395 с.
2. Юшкевич Л.В., Хамова О.Ф., Щитов А.Г., Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В. Агроэкологические особенности возделывания ячменя в лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2019. № 4 (109). С. 42–46.
3. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, Сиб. отд.-ние, 2013. 790 с.
4. Гамзиков Г.П. Проблемы экспериментальной агрохимии: Научн.-педагог. агрохим. школа акад. РАСХН Г.П. Гамзикова. Новосибирск: ООО “Печатное изд-во Агро-Сибирь”, 2013. 448 с.
5. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: МСХА, 2000. 473 с.
6. Белимов А.А. Взаимодействия ассоциативных бактерий с растениями роль абиотических и биотических факторов. ФРГ: Palmarium, 2012. 221 с.
7. Шулико Н.Н. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические и биологические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя в южной лесостепи Западной Сибири: Дис. ... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 2017. 169 с.
8. Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20.
9. Садыков Б.Ф. Биологическая азотфиксация в агроценозах. Уфа, 1989. 109 с.
10. Тихонович И.А., Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Кожемяков А.П. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений // Плодородие. 2011. № 3 (60). С. 9–13.
11. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. 210 с.

12. *Теплер Е.З., Шильникова В.К.* Практикум по микробиологии. Учеб. пособ. для вузов / Под ред. В.К. Шильниковой. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
13. *Агрохимические методы исследования почв.* М.: Наука, 1975. 655 с.
14. *Тихомирова Л.Д.* Способ определения эффективного плодородия почвы // А.с. № 338196, СССР. Оpubл. 1972. Бюл. № 16.
15. *Минеев В.Г., Ремне Е.Х., Воронина Л.П., Коваленко Л.В.* Определение суммарной токсичности почвы, корневой системы и конечной продукции при применении химических средств защиты растений; методика и результаты // Вестн. с.-х. науки. 1991. № 6 (417). С. 63–71.
16. *Завалин А.А.* Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.

Efficiency of Use of Biological Preparations of Associative Nitrogen Fixation in Resource-Saving Technologies

O. F. Khamova^a, N. N. Shuliko^{a,#}, and E. V. Tukmacheva^a

^a *Omsk Agrarian Research Center
prosp. Koroleva 28, Omsk 644012, Russia*

[#] *E-mail: shuliko@anc55.ru*

In the field experiments of SIBNIISH (currently Omsk ASC) in 2014–2017 with spring soft wheat of the Omsk-36 variety, the effect of biological preparations on plant growth and development, the yield and quality of crop production, the extent of the involvement of additional nitrogen in the agrocenosis, depending on the level of soil fertility, weather conditions of the growing season were studied. The positive effect of bacterization of seeds with minimization of tillage on its biological and agrochemical properties has been established. The use of biological preparations contributed to an increase in the number of agronomically important groups of microorganisms: nitrifying bacteria, phosphate mobilizers, reduced the number of soil fungi, and with it the likelihood of plant diseases. The increase in wheat yield over the years of the study was 1.5–1.6 c/ha or 7–9% of the control. Net income from the use of biological products increased by 639 rubles / ha, the level of profitability was 69–70% with 60% in control. Atmospheric nitrogen consumption by wheat plants averaged over 2014–2016 inoculation of wheat seeds with Rhizoagrin 11–16, biovice – 8–10 kg/ha.

Key words: biological products, microorganisms, biological activity, nitrate nitrogen, nitrogen fixation, productivity, spring wheat.