

УДК 633.11:581.1:631.8
DOI 10.17513/use.38138

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВЫХ КУЛЬТУР ТРИТИКАЛЕ И ПШЕНИЦЫ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТАМИ

¹Лебедев В.Н., ¹Кондрат С.В., ²Ураев Г.А.

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»,
Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

В данной статье рассматривается эффективность инокуляции семян некоторых злаковых культур биопрепаратами, содержащими определенные штаммы ассоциативных ризобактерий. Объектами исследования являлись тритикале (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) сорт Гребешок и пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорт Ленинградская-97. В опыте использовались такие биопрепараты, как: Азоризин (*Azospirillum lipoferum*, штамм 137), Вариоворакс (*Variovorax paradoxus*, штамм 5С-2), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Ризоагрин (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 204), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.* штамм 30) и Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5). Исследование проводилось в полевых условиях на опытном поле Агробиостанции Герценовского университета (Ленинградская область). Наблюдения проводились согласно фазам развития растения. Изучение структурных элементов продуктивности осуществлялось в фазу полной зерновой зрелости. Показано, что отобранные биопрепараты повышали всхожесть семян и высоту растений, а также стимулировали накопление сухого вещества в надземных органах и массу колосьев. При обработке Азоризином сухая масса тритикале увеличивалась на 85%, а пшеницы – на 67% относительно контроля. Масса колосьев в этом варианте возрастала на 50% (тритикале) и на 36% (пшеница) в сравнении с вариантом без инокуляции. Урожайные показатели массы зерен в опыте с тритикале максимально отличались от контроля при использовании Азоризина (на 38%) и Ризоагрин (на 26%). Данные биопрепараты также стимулировали увеличение зерновой массы пшеницы на 23% (Азоризин) и на 37% (Ризоагрин). В статье отмечен экономический эффект от использования данных препаратов. На основании комплекса изученных показателей наиболее эффективными на яровых культурах тритикале и пшеницы в условиях Ленинградской области из изученных биопрепаратов определены Азоризин и Ризоагрин.

Ключевые слова: полевой опыт, биопрепараты, инокуляция, ассоциативные ризобактерии, стимуляция роста, продуктивность, тритикале, пшеница, масса растений, масса колосьев, количество семян, масса семян, экономический эффект

YIELD OF SPRING TRITICALE AND WHEAT CROPS DURING INOCULATION OF SEEDS WITH BIOPREPARATIONS

¹Lebedev V.N., ¹Kondrat S.V., ²Uraev G.A.

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Sankt-Petersburg,
e-mail: uraev.ga@yandex.ru

This article discusses the effectiveness of inoculation of seeds of some cereal crops with biologics containing certain strains of associative rhizobacteria. The objects of the study were triticale (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) var. Scallop and wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Leningrad-97. The experiment used such biological products as: Azorizin (*Azospirillum lipoferum*, strain 137), Variovorax (*Variovorax paradoxus*, strain 5C-2), Mizorin (*Arthrobacter mysorens*, strain 7), Rhizoagrin (*Agrobacterium radiobacter*, strain 204), Flavobacterin (*Flavobacterium sp.* strain 30) and Pseudomonas (*Pseudomonas fluorescens* strain PG-5). The research was conducted in the field at the experimental field of the Agrobiostation of the Herzen University (Leningrad region). Observations were carried out according to the phases of plant development. The study of the structural elements of productivity was carried out in the phase of full grain maturity. It was shown that the selected biological preparations increased seed germination and plant height, as well as stimulated the accumulation of dry matter in aboveground organs and the mass of ears. The dry weight of triticale increased by 85% when treated with Azorizin, and wheat by 67%, relative to the control. The weight of the ears in this variant increased by 50% (triticale) and 36% (wheat), in comparison with the variant without inoculation. The yield indicators of grain weight in the triticale experiment differed as much as possible from the control when using Azorizin (by 38%) and Rhizoagrin (by 26%). These biologics also stimulated an increase in wheat grain weight by 23% (Azorizin) and by 37% (Rhizoagrin). The article notes the economic effect of using these biopreparations. Based on the complex of studied indicators, a conclusion is made about the effectiveness of Azorizin and Rhizoagrin biopreparations in stimulating the growth and increasing the productivity of triticale and wheat spring crops in these soil and climatic conditions.

Keywords: field experience, biologics, inoculation, associative rhizobacteria, growth stimulation, productivity, triticale, wheat, plant mass, ear mass, seed mass, number of seeds, economic effect

Интенсификация мирового и отечественного земледелия, которая сопряжена с необходимостью его экологизации, требует незамедлительного решения проблемы повышения продуктивности злаковых культур [1]. В связи с этим самым распространенным агрономическим приемом, который получил широкое распространение в последние годы, является использование микробиологических препаратов [2-4]. Для этого семена в процессе посева инокулируют ассоциативными ризобактериями, которые характеризуются способностью выделять биологически активные вещества. Поэтому растения, выращенные из таких семян, отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды [5]: заражению фитопатогенами, засухе, кратковременным заморозкам, тяжелым металлам и т.д.

Кроме того [6, 7], такие растения обычно отличаются высокими показателями ростовых и продукционных процессов по причине улучшения метаболизма растительного организма. Этот факт находит свое отражение в повышении экономического эффекта от полученного таким агрономическим способом урожая [8].

Однако ряд исследователей отмечают [9, 10], что необходим тщательный подбор конкретного микроорганизма и даже штамма для того или иного видового сортообразца. Это связано со специфичностью реакций внесенной микрофлоры на корневые выделения определенного сорта культуры, что каждый раз требует новых исследований.

Яровые культуры тритикале и пшеница являются перспективными и достаточно широко распространенными практически во всех регионах России [11, 12]. Тритикале – амфидиплоидный гибрид, выведенный в результате гибридизации пшеницы и ржи немецким селекционером В. Римпау в конце XIX века. Культура отличается генетической стабильностью при сочетании важнейших продуктивных качеств обоих видов растений, а по некоторым даже превосходит их. Например, засухоустойчивость тритикале выше, чем у ржи, а содержание белка в зерне превышает показатели пшеницы на 1–4% [11]. В настоящее время используется в основном как фуражная и продовольственная культура.

Целью данной работы являлось изучение влияния биопрепаратов на основе ассоциативных ризобактерий на ростовые процессы и продуктивность яровых сортов тритикале и пшеницы.

Материалы и методы исследования

Объектами работы являлись такие яровые культуры, как тритикале (*Triticosecale* Wittm. & A. Camus) – сорт Гребешок и пшеница (*Triticum aestivum* L.) – сорт Ленинградская-97. Зернофуражный сорт тритикале Гребешок включен в 2011 г. в Госреестр по Северо-Западу и Центральному регионам как высокопродуктивный образец, устойчивый к полеганию [13]. Пшеница средне-раннего сорта Ленинградская-97 включена в Госреестр по Северо-Западу в 2001 г. и рекомендована к использованию в Ленинградской области для зернофуражных целей. При этом данный сорт характеризуется как один из наиболее устойчивых по отношению к засухе и фитопатогенам [14, 15].

Растения выращивали на протяжении трех лет в 2019, 2021–2022 г. в условиях полевого опыта на опытном поле Агробиостанции Герценовского университета (п. Вырица, Ленинградская область). Почва под опытами характеризовалась как дерново-среднеподзолистая со слабокислой реакцией среды и средней обеспеченностью основными минеральными элементами. Перед проведением опыта на данном участке проводился уравнительный посев злаковой смеси.

Бактериальные препараты для проведения опытов были любезно предоставлены отделом экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий ВНИИСХМ. В опытах применяли 6 ассоциативных ризобактериальных штаммов, входящих в основу следующих препаратов: Азоризин (*Azospirillum lipoferum*, штамм 137), Вариоворакс (*Variovorax paradoxus*, штамм 5С-2), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Ризогрин (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 204), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.* штамм 30) и Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5).

Согласно стандартной методике [16], бактериализация семян проводилась в процессе посева путем непосредственного нанесения соответствующего биопрепарата на поверхность семян. Повторность каждого варианта опыта – четырехкратная. Наблюдения за культурами проводились согласно их фенологическому развитию. Всхожесть изучалась на 7-й день посева, а ростовые и продуктивные показатели – в фазу полной зерновой спелости. Статистическая обработка экспериментальных результатов осуществлялась методом дисперсионного анализа [17].

Дополнительно был проведен экономический анализ изменений значений дохода от реализации злаковых культур к контролю (без инокуляции). Авторы применили эту величину в качестве критерия экономической эффективности инокуляции злаковых культур:

$$\mathcal{E}_i = (D_i / D_{Ki}) \times 100,$$

где \mathcal{E}_i – экономическая эффективность от инокуляции i -ой злаковой культуры препаратом, %;

D_i – доход от реализации i -й злаковой культуры при инокуляции препаратом, тыс. руб.;

D_{Ki} – доход от реализации i -й злаковой культуры без инокуляции (контроль), тыс. руб.

Данный подход был авторами достаточно подробно описан и применен при изучении результатов проведения микробиологической инокуляции при возделывании других культур [18].

Результаты исследования и их обсуждение

Реакция растительного организма на внесение ассоциативных бактериальных штаммов обычно проявляется уже на ранних этапах органогенеза. Поэтому положительное влияние, если оно возникает, отражается на изменении полевой всхожести. Поэтому для нас представляло практический интерес оценить отзывчивость пшеницы и тритикале по этому показателю.

В результате было установлено (табл. 1), что предпосевная инокуляция стимулировала более активное прорастание. Всхожести семян тритикале и пшеницы увеличивались по отношению к контролю (без инокуляции) при использовании всех шести биопрепаратов.

Наиболее заметно это наблюдалось в вариантах с Азоризином и Ризоагрином – на 16–17% (тритикале) и на 10–12% (пшеница). В целом, показатели полевой всхожести среди опытных вариантов наиболее активно увеличивались в опыте с тритикале.

Действие биопрепаратов на основе ассоциативных ризобактерий прослеживалось и в процессе дальнейшего развития данных культур. Увеличение такого важного для формирования продуктивности показателя, как линейный рост растений к фазе полного созревания пшеницы и тритикале, происходило также во всех опытных вариантах, где была проведена предпосевная бактериализация.

Однако, в отличие от данных по всхожести, здесь наибольшую эффективность проявили другие ризобактериальные штаммы, а увеличение высоты у пшеницы наиболее резко отличалось от контрольного эталона. Высота растений в фазу зерновой зрелости была выше при использовании Ризоагрина, Флавобактерина и Псевдомонаса на 6–7%, что составляло 7–8 см, относительно контроля. При этом растения мягкой пшеницы отличались наибольшей высотой в вариантах с Мизорином, Вариовораксом и Азоризином – на 18–23%, что превышало контрольный показатель в среднем на 18–23 см.

Накопление сухого вещества в надземных органах растений является важным признаком, который не только указывает на интенсификацию метаболических процессов, но и участвует в формировании структурных элементов продуктивности. Такими показателями являются сухая биомасса надземных органов растений, а также изменение массы колосьев по отношению к общей биомассе культуры.

Таблица 1

Влияние биопрепаратов на всхожесть и высоту растений (среднее за 3 года)

Варианты опыта	Тритикале				Пшеница			
	Всхожесть		Высота растения		Всхожесть		Высота растения	
	%	Δ%	см	%	%	Δ%	см	%
Контроль	69	–	115,2	100	73	–	102,0	100
Азоризин	86	+17	117,6	102	83	+10	120,0	118
Вариоворакс	82	+13	120,8	105	74	+1	122,9	120
Мизорин	80	+11	119,6	104	75	+2	125,6	123
Ризоагрин	85	+16	123,5	107	85	+12	108,8	107
Флавобактерин	74	+5	122,9	106	80	+7	111,5	109
Псевдомонас	78	+9	122,2	106	80	+7	108,0	106
НСР ₀₅	3,0	–	2,3	–	2,0	–	5,6	–

Таблица 2

Действие биопрепаратов на сухую массу растений и колосьев тритикале и пшеницы, на 100 растений (среднее за 3 года)

Варианты опыта	Тритикале				Пшеница			
	Сухая масса растений		Масса колосьев		Сухая масса растений		Масса колосьев	
	г	%	г	%	г	%	г	%
Контроль	182	100	99,3	100	131	100	71,9	100
Азоризин	337	185	149,4	150	219	167	97,5	136
Вариоворакс	212	116	103,7	104	184	140	83,0	115
Мизорин	212	116	129,4	130	200	153	83,5	116
Ризоагрин	284	156	127,5	128	211	161	93,8	130
Флавобактерин	196	108	108,9	110	149	114	75,9	106
Псевдомонас	200	110	107,6	108	136	104	73,7	103
НСР ₀₅	8,2	–	3,1	–	9,5	–	2,9	–

Таблица 3

Влияние микробиологических штаммов на урожайные показатели растений яровых культур тритикале и пшеницы, на 100 растений (среднее за 3 года)

Варианты опыта	Тритикале				Пшеница			
	Масса зерен		Количество зерен		Масса зерен		Количество зерен	
	г	%	Шт.	%	г	%	Шт.	%
Контроль	214,1	100	5660	100	166,6	100	4992	100
Азоризин	295,5	138	7560	134	205,2	123	6458	129
Вариоворакс	224,2	105	5550	98	190,5	114	6203	124
Мизорин	240,4	112	4811	89	189,1	114	6199	124
Ризоагрин	270,2	126	6290	110	228,0	137	6589	132
Флавобактерин	224,5	105	5546	103	193,5	116	6225	125
Псевдомонас	183,4	86	5300	94	185,4	111	6130	123
НСР ₀₅	12,4	–	18,2	–	17,3	–	24,8	–

В организованных опытах бактериализация семян Азоризином и Ризоагрином в процессе их посева способствовала увеличению сухой массы растений тритикале на 56–85% относительно контроля (табл. 2). Кроме того, препарат Азоризин также стимулировал в 1,5 раза (149,4 г / 100 раст.) увеличение общей массы колосьев по сравнению с контролем (99,3 г / 100 раст.).

В полевом опыте с пшеницей сразу три биопрепарата продемонстрировали свою эффективность в отношении изменения показателей сухой наземной массы растительных органов: Азоризин (219 г / 100 раст.), Ризоагрин (211 г / 100 раст.) и Мизорин (200 г / 100 раст.), что на 53–67% превышало контрольные данные (131 г / 100 раст.). При этом наибольшая прибавка массы колосьев по сравнению с контролем, где инокуляция

не проводилась, была отмечена в вариантах с применением Азоризина (на 36%) и Ризоагрина (на 30%).

Отмеченные авторами изменения также отразились на формировании итоговой продуктивности обеих сельскохозяйственных культур (табл. 3). В опыте с тритикале наибольшая масса зерен была отмечена во всех опытных вариантах по отношению к контролю (214,1 г / 100 раст.), кроме того, где использовался и биопрепарат Псевдомонас (183,4 г / 100 раст.). Наиболее эффективными оказались ризобактериальные штаммы в основе препаратов Азоризин (295,5 г/100 раст.) и Ризоагрин (270,2 г/100 раст.), что превышало контрольные показатели на 26–38%. Именно в этих опытных вариантах у растений тритикале было отмечено максимальное число семян.

Таблица 4

Оценка дохода от реализации злаковых культур с 1 га

Варианты	Тритикале		Пшеница	
	тыс. руб.	прирост, %	тыс. руб.	прирост, %
Контроль	51 384	0,0	8 330	0,00
Азоризин	70 920	38,0	10 260	23,2
Вариоворакс	53 808	4,7	9 525	14,3
Мизорин	57 696	12,3	9 455	13,5
Ризоагрин	64 848	26,2	11 400	36,9
Флавобактерин	53 880	4,9	9 675	16,1
Псевдомонас	44 016	-14,3	9 270	11,3

Эффективнее всех оказался биопрепарат Азоризин, способствовавший увеличению количества семян на 34% по сравнению с контролем.

Аналогичные результаты наблюдались в опыте с пшеницей, где наибольшее увеличение массы зерен отмечено при инокуляции семян Ризоагрином – на 37% (228 г / 100 раст.) в сравнении с контролем (166,6 г / 100 раст.). Сравнительно ниже были показатели при бактеризации семенного материала Азоризином, который способствовал повышению зерновой массы на 23% (205,2 г / 100 раст.).

Именно эти же биопрепараты способствовали увеличению количества зерен. В среднем максимальное увеличение числа семян наблюдалось на 32% (Ризоагрин) и на 29% (Азоризин) относительно контрольного варианта.

Рассмотренная ранее биологическая эффективность инокуляции злаковых культур находит свое отражение и при оценке экономического эффекта (табл. 4).

Доход от реализации зерновых культур при инокуляции в сравнении с контролем возрастает. По проведенным оценкам, среднее увеличение дохода по тритикале при реализации дохода относительно контрольной группы составит 12,0%.

Аналогичный эффект наблюдается и по пшенице – среднее увеличение дохода достигает в других опытах 19,2%.

Набольшая экономическая эффективность может быть достигнута по сравнению с контролем:

- по тритикале с применением Азоризина – 38,0%;
- по пшенице с применением Ризоагрина – 36,9%.

Заключение

Таким образом, бактеризация семян яровой тритикале и яровой пшеницы в процессе посева благоприятно отражается на всхожести (до 17%) и увеличении линейного роста (на 18–23%) растений по сравнению с неинокулированными вариантами.

Кроме того, ассоциативные ризобактериальные штаммы в составе биопрепаратов способствовали повышению сухой массы растений и колосьев. По этим показателям в опыте с тритикале наиболее эффективным оказывается биопрепарат Азоризин, стимулировавший увеличение биомассы надземных органов на 85%, а колосьев в 1,5 раза. Для растений пшеницы самыми эффективными оказались биопрепараты Азоризин и Ризоагрин. В этих опытных вариантах сухая масса целых растений возрастала на 67% и 61%, а масса колосьев на 36% и 30% соответственно.

Именно эти два биопрепарата самым положительным образом отличались в отношении формирования продуктивности (массы и количества зерен) обеих исследованных авторами культур. Масса зерен яровой тритикале увеличивалась на 38% (Азоризин), а яровой пшеницы – на 37% (Ризоагрин). Количество зерен возрастало на 34% у растений тритикале в вариантах с обработкой семян Азоризином и на 32% – Ризоагрином в опыте с пшеницей в сравнении с контролем.

В результате оценки экономического эффекта установлена возможность увеличения доходов от реализации исследуемых культур при условии проведения перед посевом инокулирования посадочного материала.

Таким образом, наиболее эффективными по исследованному авторами комплек-

су параметров для яровых культур тритикале и пшеницы являются ризосферные бактерии *Azospirillum lipoferum*, штамм 137, и *Agrobacterium radiobacter*, штамм 204, в основе биопрепаратов Азоризин и Ризоагрин.

Список литературы

1. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н. Микроорганизмы в агробиотехнологиях и защите природной среды. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. 219 с.
2. Кожемяков А.П., Лактионов Ю.В., Попова Т.А., Орлова А.Г., Кокорина А.Л., Вайшляз О.Б., Агафонов Е.В., Гужвин С.А., Чураков А.А., Яковлева М.Т. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50, № 3. С. 369-376.
3. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агробиология. 2019. № 8. С. 83-96.
4. Лебедев В.Н. Ассоциативные штаммы бактерий как современный элемент экологизации выращивания капустных растений // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2014. № 168. С. 49-53.
5. Basu A., Prasad P., Das S.N., Kalam S., Sayyed R.Z., Reddy M.S., Enshasy H.E. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects // Sustainability. 2021. Vol. 13. № 3. P. 1-20.
6. Лебедев В.Н. Влияние инокуляции семян ассоциативными ризобактериями на изменение численности бутонов и цветков у горчицы белой // Инновации в развитии экологического образования населения. Кластерный подход: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции 23-24 октября 2013 года. Курган, 2013. С. 166-168.
7. Fatih C., Murat E., Mehmet S., Arzu C. The Role of Beneficial Microorganisms in the Protection of Plants Growing in Natural Landscape Areas // Siirt. 2017. P. 427-442.
8. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Оценка эффективности инокуляции семян четырех видов горчиц ассоциативными азотфиксирующими штаммами ризобактерий // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-25. С. 5594-5598.
9. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Оценка эффективности обработки семян капустных культур ассоциативными ризобактериями в условиях нормального увлажнения и почвенной засухи // Успехи современного естествознания. 2021. № 5. С. 13-18.
9. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. Саратов: Амирит, 2019. 252 с.
10. Ha Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S.H., Huang C.C., Huang E. Roles of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22, № 6. P. 1-38.
11. Тритикале: Материалы заседания секции тритикале ОСХН РАН онлайн, Ростов-на-Дону, 09 июня 2020 года. Том 9. Ростов-на-Дону: Юг, 2021. 280 с.
12. Kandrov R., Pankratov G., Meleshkina E., Vitol I., Tulyakov D. Effective technological scheme for processing triticale (*Triticosecale* L.) grain into graded flour // Foods and Raw Materials. 2019. Vol. 7, No. 1. P. 107-117.
13. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Действие различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество яровой тритикале на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. 47. С. 183-187.
14. Лосева В.А., Темирбекова С.К., Л.Ю. Новикова Л.Ю., Брыкова А.Н., Кудрявцева Е.Ю., Зуев Е.В. Результаты полевого изучения образцов яровой мягкой пшеницы из новейших поступлений в коллекцию ВИР в условиях Центрально-Черноземного региона РФ // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 5. С. 4-10.
15. Гречишкина О.С., Хутамбирдина Р.Д., Мордвинцев М.П. Величина и структура урожая зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях засухи разного типа // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104, № 4. С. 217-232.
16. Лактионов Ю.В., Косульников Ю.В., Кожемяков А.П. Технологичность микробиологических препаратов в растениеводстве // Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего: сборник тезисов докладов PLAMIC2022, Санкт-Петербург, 03-08 октября 2022 года. СПб., 2022. 143 с.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 350 с.
18. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Роль ассоциативных ризобактерий в повышении сохранения продуктивности горчицы белой к почвенной засухе // Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 29-34.