

УДК 631.811.98:633.11“324”(470.345)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО БИОПРЕПАРАТА НА ПОСЕВАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

© 2023 г. А. С. Пронин¹, Т. С. Колмыкова², А. С. Лукаткин^{1,*}

¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
430005 Саранск, ул. Большевистская, 68, Россия

² Лицей № 31 г. Саранска
430034 Саранск, ул. Металлургов, 2, Россия

*E-mail: aslukatkin@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.02.2023 г.

После доработки 27.03.2023 г.

Принята к публикации 15.05.2023 г.

В полевых условиях Республики Мордовия изучали влияние обработки семян и растений озимой пшеницы сортов Мироновская 808 и Скипетр комплексным биопрепаратом на основе совместно культивируемых штаммов RGPB *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* и RGPB *Saccharomyces cerevisiae* на рост растений и их продуктивность. Использовали обработку семян биопрепаратом в разведении водой в соотношении 1 : 100 и обработку растений в период вегетации в разведении 1 : 200. Комплексный биопрепарат повышал чистую продуктивность фотосинтеза и прирост листовой поверхности, увеличивал массу и объем корневой системы, но не влиял на высоту растений. Препарат обеспечивал рост зерновой продуктивности на 25–36% по сравнению с контролем. Стимулирующий эффект биопрепарата был сортоспецифичным.

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, комплексный биопрепарат, *Pseudomonas chlororaphis*, *Saccharomyces cerevisiae*, рост, масса, урожайность зерна.

DOI: 10.31857/S0002188123080094, **EDN:** ZENTQT

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения питания человека во все эпохи остается актуальной [1], и для ее решения в сельском хозяйстве применяют различные технологии возделывания и культивирования растений с разным вегетационным периодом [2]. Озимые культуры — форма однолетних сельскохозяйственных зерновых (обычно злаковых), жизненный цикл которой требует перезимовки (от одного до нескольких месяцев) в условиях пониженных температур [3]. Данные культуры являются очень требовательными к плодородию почв и вносимым удобрениям; также на урожайность озимых культур влияют температура, адаптация сорта, наличие и величина снежного покрова, влажность, и ряд других факторов [4, 5].

Озимая пшеница по сравнению с яровой имеет ряд преимуществ, поскольку успевает до зимы раскуститься и укорениться, весной рано возобновляет рост и продуктивно использует весеннюю влагу, следовательно, меньше страдает от весенней засухи, превосходит в росте сорную растительность и хорошо глушит всходы многих

сорняков, раньше подходит к уборке и освобождает поля для обработок, предупреждает развитие ветровой и водной эрозии почвы, осенний посев и более ранняя уборка способствуют уменьшению нагрузки весенне-полевых и уборочных работ [6–8].

Одним из эффективных способов увеличения урожайности озимых культур наряду с внесением удобрений и подкормок является обработка семян и вегетирующих растений биопрепаратами на основе ростстимулирующих микроорганизмов [9]. Помимо повышения урожайности культур биопрепараты способствуют переходу к экологическому земледелию и получению экологичных пищевых продуктов [10]. Однако вопрос подбора биопрепаратов и соответствующих штаммов бактерий для разных культур и сортов остается актуальным [11]. Биопрепараты должны обладать рядом свойств, в числе которых — антистрессовое действие, стимуляция роста вегетативной массы и корневой системы растений, наличие фитогормонов, бактерицидов для защиты от фитопатогенов, и т.п. [12–14]. Особо актуально совокупное

использование агроприемов и биологических препаратов, которые могут гарантировать высокую урожайность и защиту растений в условиях стресса.

На современном этапе активно изучают и оптимизируют технологии производства биопрепаратов. Для обеспечения высокой эффективности биопрепаратов при их создании используют стимулирующие рост растений штаммы бактерий (Plant Growth Promoting Bacteria, **PGPB**) и грибов (Plant Growth Promoting Fungi, **PGPF**) [15–17]. Микробиологические препараты представляют собой живые клетки микроорганизмов, отобраных на полезные свойства, которые находятся в культуральной жидкости (**КЖ**) либо адсорбированы на нейтральном носителе [17].

Ранее нами был создан комплексный биопрепарат (**КБП**) на основе **КЖ** совместно культивируемых штаммов микроорганизмов: бактерии *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B-5326 и дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317, способ получения биопрепарата подробно описан в работе [18]. Предварительный анализ показал рост-стимулирующую активность полученного **КБП**, который в лабораторных опытах повышал энергию прорастания и всхожесть ячменя, пшеницы и кукурузы [18].

Цель работы – изучить эффективность применения **КБП** на основе **КЖ** *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B-5326 и *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317 в посевах озимой пшеницы в полевых условиях Республики Мордовия. Для выполнения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить действие **КБП** на развитие и параметры роста растений 2-х сортов озимой пшеницы в полевых условиях Республики Мордовия.
2. Определить сравнительную эффективность использования биопрепарата на сортах озимой пшеницы в полевых условиях.
3. Выяснить влияние биопрепарата на продуктивность и структуру зерновой продуктивности озимой пшеницы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты с озимой пшеницей проводили в течение 2-х сезонов (2020/2021 и 2021/2022 гг.) на территории Республики Мордовия (Старошайговский р-н, ООО “Новотроицкое”) по общепринятой методике [19].

В работе использовали коммерчески приобретенные семена озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Мироновская 808 и Скипетр. Обработку семян и растений проводили **КБП**, со-

зданным на основе *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* B-5326 + *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317 [18]. Штамм бактерий *Pseudomonas chlororaphis* B-5326 впервые был выделен из нефтеносных слоев почвы (г. Дрогобыч, Украина) и получен в виде лиофилизата из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ “Курчатовский институт”–ГосНИИгенетика. Штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317, первоначально выделенный из ягод винограда (Россия, Дагестан, с. Ерс), получен из той же коллекции. Размножение бактерий проводили на среде DMEM/F12 Merck (Sigma-Aldrich), штамма дрожжей – на среде Malt extract agar (Granu-Cult®).

Обработку проводили путем замачивания семян за 14 сут перед посевом в **КБП** на основе **КЖ** *Pseudomonas chlororaphis* B-5326 (10^7 КОЕ/мл) + *Saccharomyces cerevisiae* Y-4317 (10^5 КОЕ/мл) в разведении 1 : 100. Посев проведен 18.08.2020 г. и 15.08.2021 г. Почва участка – серая лесная, содержит ~3% гумуса, реакция среды слабокислая (рН 5.2–5.3). Расположение делянок систематическое, с севера на юг, площадь одной делянки 2 м² (120 × 167 см), повторность четырехкратная. По достижении растениями фазы кушения проводили 2-ю обработку путем опрыскивания растений **КЖ** в разведении 1 : 200. В качестве контроля использовали результаты, полученные на обработанных водой растениях озимой пшеницы.

Во время вегетации осуществляли уход за растениями, принятый в производственных условиях: поддерживали почву в свободном от сорняков состоянии, проводили дробную подкормку азотными удобрениями, осуществляли систему защитных мероприятий с использованием пестицидов Актара и Амистар-Экстра. Наблюдения за растениями начинали с появлением всходов, отмечали сроки наступления основных фенологических фаз (всходов, кушения, колошения, молочной спелости, восковой спелости, полной спелости).

По достижении растениями стадий кушения и колошения определяли площадь листовой поверхности (S_n) одного растения и чистую продуктивность фотосинтеза (**ЧПФ**). При достижении большинством растений (не менее 70%) фазы молочной спелости зерна определяли сухую массу и объем корневой системы, высоту растений. В конце периода вегетации, при достижении растениями полной спелости зерна, проводили учет урожая: массу семян с одной делянки и массу 1000 семян [20], а также общую и продуктивную кустистость.

Таблица 1. Наступление фенологических фаз озимой пшеницы в 2020/2021 и 2021/2022 гг.

Фенологическая фаза развития	2020/2021 гг.		2021/2022 гг.	
	Дата	Межфазный промежуток, сут	Дата	Межфазный промежуток, сут
Всходы	29.08.2020 г.	11	28.08.2021 г.	13
Кушение	10.09.2020 г.	12	11.09.2021 г.	14
Колошение	20.06.2021 г.	263	27.06.2022 г.	269
Молочная спелость	5.07.2021 г.	15	10.07.2021 г.	13
Восковая спелость	14.07.2021 г.	9	19.07.2021 г.	9
Полная спелость	20.07.2021 г.	6	26.07.2021 г.	7

Объем корневой системы растений пшеницы определяли методом Сабина–Колосова [21]. ЧПФ растений рассчитывали по формуле Веста–Бригса:

$$\text{ЧПФ} = (B_2 - B_1) / 0.5(S_{л1} + S_{л2}) \cdot n,$$

где ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза, г/м²/сут, B_1 и B_2 – сухая масса растений в начале и в конце учетного периода, г; $S_{л1}$ и $S_{л2}$ – площадь зеленых листьев в начале и в конце учетного периода, м²; n – время между двумя определениями, сут [21].

Все определения проведены не менее чем в 10 биологических повторностях (растений одного варианта опыта). Статистическую обработку полученных данных проводили стандартными биометрическими методами с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel. Экспериментальные данные, характеризующие рост и продуктивность растений, представлены в таблицах в виде средних арифметических (M) с ошибками среднего квадратичного отклонения (SE).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При выращивании растений озимой пшеницы была проведена фиксация сроков наступления фенологических фаз развития (табл. 1). Из представленных данных видно несколько замедленное развитие растений в сезоне 2021/2022 гг. При этом различий в прохождении фенологических фаз между контрольными и обработанными КБП растениями не выявлено, как и между изученными сортами.

В основе продукционного процесса, ведущего к созданию урожая, лежит фотосинтетическая деятельность растений – ассимиляция CO₂, образование органического вещества. При рассмотрении посева как фотосинтезирующей системы очевидно, что величина сухой массы, создаваемой за вегетационный период, или ее прирост за определенный период, зависят от величины сред-

ней площади листьев, продолжительности периода и чистой продуктивности фотосинтеза за этот период [22]. В работе изучили формирование листовой поверхности пшеницы в фазах кушения и колошения (табл. 2). Анализ результатов показал, что у растений сорта Мироновская 808 величина $S_{л}$ варьировала от 38.4 до 53.9 см²/растение в фазе кушения и от 139 до 161 см²/растение в фазе колошения. Закономерно, что площадь листовой поверхности растений была больше в фазе колошения за счет увеличения количества листьев на растении. Также были заметны различия $S_{л}$ по годам. И в 2020/2021, и в 2021/2022 гг. отметили общую закономерность: у растений, обработанных биопрепаратом, площадь листовой поверхности увеличивалась, особенно значительно в стадии кушения, когда прирост $S_{л}$ относительно контроля составил 29 и 32% (для 2020 и 2021 гг. соответственно). В стадии колошения также отметили увеличение листовой поверхности по сравнению с контролем, но в меньшей степени: на 16% в 2022 г. и недостоверное различие с контролем в 2021 г. На основании полученных данных можно сделать заключение, что предпосевная обработка семян озимой пшеницы КЖ на базе *Pseudomonas chlororaphis* и *Saccharomyces cerevisiae* оказала стимулирующее действие на рост листьев.

Увеличение листовой поверхности влияет на фотосинтетическую активность растений [22]. Однако ЧПФ зависит не только от площади листьев, но и от совокупности факторов и условий произрастания растений. Величины ЧПФ растений сорта Мироновская 808 в стадии кушения были меньше, чем в последующей стадии колошения. Обработка биопрепаратом значительно повлияла на величину ЧПФ: в 2020/2021 г. ЧПФ на стадии кушения обработанных биопрепаратом растений увеличилась в среднем на 46% по сравнению с контролем, в то время как площадь листовой поверхности возросла на 29%. В этом же году на стадии колошения ЧПФ повысилась на

Таблица 2. Влияние обработки биопрепаратом на параметры фотосинтетической активности растений озимой пшеницы

Показатель	Контроль (без обработки)		Обработка КБП	
	2020/2021 г.	2021/2022 г.	2020/2021 г.	2021/2022 г.
Сорт Мироновская 808				
S_n в стадии кушения, см ² /растение	38.4 ± 1.6	40.9 ± 1.9	49.5 ± 2.4	53.9 ± 2.5
S_n в стадии колошения, см ² /растение	146 ± 7	139 ± 7	160 ± 8	161 ± 8
ЧПФ в стадии кушения, г/м ² /сут	3.53 ± 0.18	4.28 ± 0.22	5.17 ± 0.24	6.67 ± 0.30
ЧПФ в стадии колошения, г/м ² /сут	4.63 ± 0.22	5.25 ± 0.26	6.20 ± 0.33	6.78 ± 0.34
Сорт Скипетр				
S_n в стадии кушения, см ² /растение	46.7 ± 2.2	49.0 ± 2.3	58.0 ± 2.8	59.5 ± 2.7
S_n в стадии колошения, см ² /растение	165 ± 7	164 ± 7	176 ± 7	172 ± 9
ЧПФ в стадии кушения, г/м ² /сут	3.86 ± 0.22	4.15 ± 0.29	4.87 ± 0.23	6.15 ± 0.26
ЧПФ в стадии колошения, г/м ² /сут	5.10 ± 0.21	5.35 ± 0.26	6.65 ± 0.22	6.96 ± 0.29

34% по сравнению с необработанными растениями, хотя S_n — всего на 10%. Применение КБП в 2021/2022 г. показало сходные результаты: оно способствовало увеличению ЧПФ на 56% в фазе кушения и на 29% в фазе колошения по сравнению с контрольными растениями. Отсюда можно предположить, что стимулирующий эффект созданного КБП в отношении активности фотосинтеза обусловлен не только увеличением площади поверхности листьев.

У растений озимой пшеницы сорта Скипетр отметили несколько отличающиеся результаты (табл. 2). Так же, как и у предыдущего сорта, КБП стимулировал развитие ассимиляционной поверхности растений в фазе кушения: в 2021 г. — на 24% к контролю, в 2022 г. — на 21%, т.е. выявлен ростстимулирующий эффект. Однако на стадии колошения обнаружена лишь тенденция к увеличению S_n при обработке биопрепаратом, поскольку различия с контролем были незначительными.

В более значительной степени обработка биопрепаратом увеличила показатели продуктивности фотосинтеза растений пшеницы сорта Скипетр: в 2021 г. ЧПФ превысила контроль на 26 и 30% в фазах кушения и колошения соответственно; в 2022 г. это превышение составило 48 и 30%.

Анализируя данные, полученные на 2-х сортах озимой пшеницы, можно сделать вывод о том, что КБП на основе *Pseudomonas chlororaphis* и *Saccharomyces cerevisiae* в большей степени стимулировал фотосинтетическую активность по сравнению с приростом листовой поверхности. Это дает право предположить, что биопрепарат на основе 2-х групп микроорганизмов способствовал уве-

личению притока веществ к растению, в том числе и за счет минерализации органических веществ почвы [23, 24].

Возможно также, что КБП стимулировал развитие корневой системы, поэтому на следующем этапе работы определяли массу и объем корневой системы, а также высоту надземной части в фазе молочной спелости зерна (табл. 3). У растений сорта Мироновская 808 обработка семян и растений КЖ *Pseudomonas chlororaphis* и *Saccharomyces cerevisiae* стимулировала более интенсивный рост корневой системы, масса корней по сравнению с контролем увеличилась на 20% в 2021 г. и на 17% в 2022 г. Важным показателем, определяющим поглотительную способность растений, является объем корневой системы. Он возрос по сравнению с контролем на 24% в 2022 г. (в 2021 г. обнаружена лишь тенденция к увеличению, поскольку различия с контролем незначительны). Различия высоты стебля между контрольными и обработанными биопрепаратом растениями были в пределах ошибки.

У растений пшеницы сорта Скипетр выявлены сходные результаты: КБП стимулировал рост корневой системы, но не оказал влияния на высоту стебля. В результате действия КЖ микроорганизмов масса корней увеличилась по сравнению с контролем на 20–22% в оба года наблюдения. Однако объем корневой системы показал лишь тенденцию к увеличению по сравнению с контролем (различия незначительны при $P = 0.05$).

Таким образом, КБП в полевом опыте с растениями озимой пшеницы стимулировал развитие листовой поверхности, корневой системы (причем это стимулирующее действие имело сорто-

Таблица 3. Влияние обработки биопрепаратом на параметры роста растений озимой пшеницы в фазе молочной спелости зерна

Показатель	Контроль (без обработки)		Обработка биопрепаратом	
	2020/2021 г.	2021/2022 г.	2020/2021 г.	2021/2022 г.
Сорт Мироновская 808				
Масса корней, г	38.5 ± 1.7	37.4 ± 1.8	46.3 ± 1.8	43.8 ± 1.5
Объем корневой системы, см ³	0.61 ± 0.029	0.54 ± 0.025	0.69 ± 0.031	0.67 ± 0.033
Высота растений, см	82.6 ± 3.7	84.5 ± 3.5	84.2 ± 4.4	85.6 ± 3.7
Сорт Скипетр				
Масса корней, г	36.8 ± 1.8	35.4 ± 1.7	44.3 ± 2.1	42.9 ± 2.1
Объем корневой системы, см ³	0.53 ± 0.025	0.49 ± 0.023	0.57 ± 0.025	0.53 ± 0.025
Высота растений, см	81.5 ± 4.0	83.2 ± 3.9	82.0 ± 4.1	83.5 ± 3.8

Таблица 4. Влияние обработки комплексным биопрепаратом на продуктивность растений озимой пшеницы

Показатель	Контроль (без обработки)		Обработка биопрепаратом	
	2020/2021 гг.	2021/2022 гг.	2020/2021 гг.	2021/2022 гг.
Сорт Мироновская 808				
Масса зерна, г/м ²	135 ± 5	145 ± 7	184 ± 7	190 ± 8
Масса 1000 семян, г	43.8 ± 1.7	40.3 ± 1.5	49.3 ± 3.2	44.8 ± 3.8
Сорт Скипетр				
Масса зерна, г/м ²	143 ± 7	136 ± 6	181 ± 8	173 ± 6
Масса 1000 семян, г	48.7 ± 1.6	43.5 ± 1.4	50.1 ± 3.5	47.1 ± 1.7

вую специфичность), но не оказал влияния на рост побега. Это можно рассматривать как положительное свойство биопрепарата, позволяющее избегать загущения и полегания посева.

При определении урожая озимой пшеницы подсчитывали общую и продуктивную кустистость растений. У сортов Мироновская 808 и Скипетр предпосевная обработка семян и опрыскивание биопрепаратом растений в фазе кущения практически не повлияла на продуктивную кустистость злака во все годы наблюдения, в среднем общая кустистость изученного объекта составила 3.2–3.4 (различия с контролем не достоверны при $P = 0.05$). Продуктивная кустистость при этом составила ~3 стебля на растение. Загущение посевов привело бы к снижению биологической урожайности и как следствие – к снижению массы 1000 зерен.

Урожай зерна в контрольных вариантах сорта Мироновская 808 составил (по годам) от 135 до 144 г/м² (табл. 4). Использование КБП в форме предпосевной обработки и опрыскивания в фазе кущения увеличило урожай зерна на 36% в 2021 г. и на 32% в 2022 г. Семена как контрольных, так и обработанных биопрепаратом растений соответствовали ГОСТу [20]. Анализ полученных резуль-

татов показал, что масса 1000 зерен у контрольных растений находилась в пределах от 40 до 44 г, у обработанных препаратом растений – от 45 до 49 г. Таким образом, обработка КБП семян и растений проявила тенденцию к увеличению размеров зерна у сорта Мироновская 808 (различия с контролем были недостоверными).

Растения сорта Скипетр показали сходную продуктивность с сортом Мироновская 808. Величина массы зерна менялась от 138 до 143 г/м² в контроле, и вследствие обработки КБП урожайность увеличилась на 27 и 25% в 2021 и в 2022 гг. соответственно. Таким образом, эффективность обработки биопрепаратом (по массе зерна с единицы площади) была меньше у сорта Скипетр по сравнению с сортом Мироновская 808, т.е. четко проявилась сортовая специфичность действия КБП. Масса 1000 семян варьировала в пределах от 43 до 50 г, различия между вариантами обработки биопрепаратом и контролем были недостоверными.

Известно, что влияние биопрепаратов на продуктивность сельскохозяйственных культур определяется погодными условиями вегетационного периода и уровнем плодородия почвы; при недостатке атмосферных осадков в период веге-

тации урожайность не изменяется при инокуляции микроорганизмами. Однако при количестве осадков, близком к среднесезонной норме, использование ассоциативных биопрепаратов эквивалентно внесению азотного удобрения под озимые пшеницу, рожь и тритикале, а также ячмень и овес в дозе 30 кг/га, под яровую пшеницу – 30–45, под кукурузу – 45–60 и под картофель – 40–45 кг/га [25]. В литературе имеются данные, что стимулирующее действие биопрепаратов в растениеводстве обусловлено не только повышением плодородия почв. Так, обработка семян и посевов озимой пшеницы биопрепаратом Трихофт способствовала повышению фотосинтетического потенциала растений и ЧПФ, что обеспечило и повышение урожайности культуры на 8.2–21.2% [26].

Таким образом, использование КЖ *P. chlororaphis* и *S. cerevisiae* в форме предпосевной обработки с разведением 1 : 100 и последующего опрыскивания в фазе кущения с разведением 1 : 200 способствовало оптимизации продуктивной кустистости растений, увеличило урожай зерна и показало тенденцию к увеличению абсолютной массы семян. При этом выявлена сортоспецифичность действия КБП на различные параметры продуктивности озимой пшеницы.

Использование биопрепаратов на основе *PGPB* и *PGPF* в последнее время находит все большее применение в посевах сельскохозяйственных культур. В практику аграрного использования входят все новые и новые линии и штаммы ростстимулирующих микроорганизмов [23–27]. Созданный комплексный биопрепарат на основе *Pseudomonas chlororaphis* и *Saccharomyces cerevisiae* проявил выраженное ростстимулирующее действие и способствовал повышению продуктивности сортов озимой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя полученные данные по применению КБП на 2-х сортах озимой пшеницы, можно сделать заключение, что двукратная обработка биопрепаратом (предпосевная обработка семян с разведением 1 : 100 и опрыскивание в фазе кущения с разведением 1 : 200) индуцировала увеличение листовой поверхности и усиленный рост корневой системы, но не оказала влияния на рост побега. КБП в большей степени стимулировал фотосинтетическую активность по сравнению с приростом листовой поверхности. Это способствовало оптимизации продуктивной кустистости растений, приводило к увеличению урожайности и показало тенденцию к увеличению абсолютной массы семян.

Сравнение эффектов обработки комплексным биопрепаратом 2-х сортов озимой пшеницы показало явную сортовую специфичность. При этом направленность действия КБП была сходной для сортов, но в количественном выражении эффективность была больше у сорта Мироновская 808, нежели у сорта Скипетр. Очевидно, этот аспект действия КБП необходимо принимать во внимание при использовании различных доз препарата на разных сортах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеенко М.С., Мукатова М.Д. Пищевые продукты питания функциональной направленности и их назначение // Вестн. Астрахан. ГТУ. 2019. № 1. С. 145–152.
2. Романенков В.А., Павлова В.Н., Беличенко М.В. Агротехнические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур // Агрехимия. 2022. № 12. С. 19–30. <https://doi.org/10.31857/S0002188122120110>
3. Qiu R., Li L., Liu C., Wang Z., Zhang B., Liu Z. Evapotranspiration estimation using a modified crop coefficient model in a rotated rice-winter wheat system // *Agricult. Water Manag.* 2022. V. 264. Art. 107501. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107501>
4. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Роль новых сортов озимой пшеницы в интенсификации сельского хозяйства на Дону // АгроФорум. 2022. № 1. С. 54–57.
5. Привалов Ф.И., Булавин Л.А., Небышинцев С.С., Симченков Д.Г., Сущевич И.А. Зависимость урожая зерна озимой пшеницы от способов основной обработки почвы // *Земледелие и защита раст.* 2015. № 3. С. 3–5.
6. Лоцинина А.Э. Пары как предшественники озимых культур при различных системах обработки почвы // *Аграрн. Россия.* 2022. № 5. С. 10–14.
7. Морозов Н.А., Хрипунов А.И. Весенне-летние засухи и урожайность озимой пшеницы в сухостепной полосе Ставрополя // *Изв. Оренбург. ГАУ.* 2022. № 4 (96). С. 30–36.
8. Шабеев А.И. Ресурсосберегающие технологии возделывания озимой пшеницы в агроландшафтах Поволжья // *Земледелие.* 2009. № 4. С. 13–15.
9. Кошпаева Т.В., Кириллова Н.И., Дегтярева И.А. Комплексные биопрепараты на основе автохтонных почвенных микроорганизмов // *Уч. зап. Казан. гос. акад. вет. мед. им. Н.Э. Баумана.* 2022. Т. 250. № 2. С. 104–108.
10. Монастырский О.А., Кузнецова Е.В., Есипенко Л.П. Органическое земледелие и получение экологических пищевых продуктов в России // *Агрехимия.* 2019. № 1. С. 3–4. <https://doi.org/10.1134/S000218811901006X>
11. Iakimova E.T., Sobiczewski P. Bacteria as biocontrol agents of infectious diseases on horticultural crops // *Bulg. J. Agric. Sci.* 2022. V. 28. № 5. P. 866–875.
12. Afzali-Goroh E., Saberi-Riseh R., Hosseini A., Vatankhah M. Application of some plant growth-pro-

- moting rhizobacteria to enhance plant growth and protection against *Cucumber mosaic virus* in cucumber // *J. Crop Protect.* 2022. V. 11. № 1. P. 133–144.
13. *Yadav A.N., Verma P., Singh B., Chauhan V.S., Suman A., Saxena A.K.* Plant growth promoting bacteria: Biodiversity and multifunctional attributes for sustainable agriculture // *Adv. Biotechnol. Microbiol.* 2017. V. 5. № 5. Art. 555671.
<https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.05.555671>
 14. *Разина А.А.* Эффективность биологического стимулятора роста растений Стимунол ЕФ на яровой пшенице // *Агрохимия.* 2018. № 7. С. 50–56.
<https://doi.org/10.1134/S0002188118070104>
 15. *Анохина Т.О., Суинова Т.В., Сизова О.И., Захарченко Н.С., Кочетков В.В.* Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas* в современных агробиотехнологиях // *Агрохимия.* 2018. № 10. С. 54–66.
<https://doi.org/10.1134/S0002188118100034>
 16. *El-Maraghy S.S., Tohamy A.T., Hussein K.A.* Plant protection properties of the plant growth-promoting fungi (PGPF): Mechanisms and potentiality // *Curr. Res. Environ. Appl. Mycol. (J. Fungal Biol.).* 2021. V. 11. P. 391–415.
<https://doi.org/10.5943/cream/11/1/29>
 17. *Kumar A., Singh S., Gaurav A.K., Srivastava S., Verma J.P.* Plant growth-promoting bacteria: Biological tools for the mitigation of salinity stress in plants // *Front. Microbiol.* 2020. V. 11. Art. 1216.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216>
 18. *Пронин А.С., Колмыкова Т.С., Лукаткин А.С.* Особенности совместного культивирования *Pseudomonas chlororaphis* и *Saccharomyces cerevisiae* для создания комплексного биопрепарата // *Сел.-хоз. биол.* 2022. Т. 57. № 1. С. 171–182.
<https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.1.171rus>
 19. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 20. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. М.: Стандартинформ, 2011. 4 с.
 21. *Викторов Д.П.* Малый практикум по физиологии растений. М.: Высш. шк., 1983. 135 с.
 22. *Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А.* Физиология растений. М.: Высш. шк., 2006. 742 с.
 23. *Hsu S.-H., Shen M.-W., Chen J.-C., Lur H.-S., Liu C.-T.* The photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas palustris* strain PS₃ exerts plant growth-promoting effects by stimulating nitrogen uptake and elevating auxin levels in expanding leaves // *Front. Plant Sci.* 2021. V. 12. Art. 573634.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.573634>
 24. *Chandra P., Khobra R., Sundha P., Sharma R.K., Jasrotia P., Chandra A., Singh D.P., Singh G.P.* Plant growth promoting *Bacillus*-based bio formulations improve wheat rhizosphere biological activity, nutrient uptake and growth of the plant // *Acta Physiol. Plant.* 2021. V. 43. Art. 139.
<https://doi.org/10.1007/s11738-021-03310-5>
 25. *Завалин А.А.* Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // *Достиж. науки и техн. АПК.* 2011. № 8. С. 9–11.
 26. *Пигорев И.Я., Тарасов С.А.* Влияние биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность и урожайность озимой пшеницы // *Вестн. Курск. ГСХА.* 2014. № 8. С. 47–50.
 27. *Olanrewaju O.S., Glick B.R., Babalola O.O.* Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2017. V. 33. № 11. Art. 197.
<https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>

Efficiency of Complex Biopreparation Use on Winter Wheat Crops in Mordovia

A. S. Pronin^a, T. S. Kolmykova^b, and A. S. Lukatkin^{a,#}

^a*Department of General Biology and Ecology, N.P. Ogarev Mordovia State University
ul. Bolshevistskaya 68, 430005 Saransk, Russia*

^b*Lyceum № 31 of Saransk
430034 Saransk, ul. Metallurgov 2, Russia*

[#]*E-mail: aslukatkin@yandex.ru*

Under field conditions in the Republic of Mordovia, we studied the effect of treatment of seeds and plants of winter wheat varieties Mironovskaya 808 and Skipetr with a complex biological preparation based on jointly cultivated strains PGPB *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* and PGPF *Saccharomyces cerevisiae* on plant growth and productivity. We used seed treatment with the biological preparation diluted with water at a ratio of 1 : 100, and plant treatment during vegetation at a dilution of 1 : 200. The complex biological preparation stimulated an increase in net productivity of photosynthesis and leaf surface, an increase in root dry weight and volume, but not plant height, and an increase in grain productivity by 25–36% compared with control. The stimulating effect of the biopreparation was variety-specific.

Key words: winter wheat, cultivars, complex biopreparation, *Pseudomonas chlororaphis*, *Saccharomyces cerevisiae*, growth, weight, yield.