

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* НА ФИТОПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**А. А. Абрамова, Р. И. Сафин**

Реферат. Проведены исследования по оценке влияния применения двух биологических биопрепаратов на основе эндофитных бактерий на фитопатогенные грибы и продуктивность яровой пшеницы сорта Ульяновская 105. Исследования проводились в годы как с благоприятными (2020, 2022 год), так с год с острозасушливыми (2021 год) условиями увлажнения в период вегетации. Полевые опыты закладывались на высокоплодородной серой лесной почве в Предкамской зоне Республики Татарстан. В качестве биологических агентов использовались бактерии *Bacillus mojavensis* PS17 (эндофитная бактерия семян) и *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 (эндофитная бактерия корней и стеблей). Биопрепараты на основе данных бактерий использовались для обработки семян (норма 1 л/т) и для опрыскивания растений в фазу колошения (1,0 л/га). В качестве контроля выступал вариант без применения каких-либо обработок, а стандартом служила схема с применением химических фунгицидов (обработка семян Ламадор (0,2 л/т), опрыскивание ПропиШанс (0,5 л/га)). В лабораторных условиях была обнаружена высокая фунгицидная активность *Bacillus mojavensis* PS17 и *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 в отношении фузариозных грибов. Обнаружено преимущество применения *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 при обработке семян яровой пшеницы в подавлении фузариозной инфекции в почве прикорневой зоны растений. Оба штамма при обработке семян подавляли развитие *Cochliobolus sativus* в почве прикорневой зоны растений пшеницы. Наиболее эффективный контроль корневых гнилей на ранних этапах развития растений яровой пшеницы обеспечивался при использовании схемы с обработкой семян *Bacillus mojavensis* PS17. Применение биопрепаратов на основе эндофитных бактерий снижало развитие листовых микозов яровой пшеницы, причем по эффективности контроля болезней значительных различий между штаммами не отмечалось. Наиболее сильное положительное влияние на урожайность яровой пшеницы оказало применение биопрепаратов на основе эндофитных бактерий в условиях острозасушливого вегетационного периода. Максимальная урожайность яровой пшеницы обеспечивала схема биологической защиты с эндофитной бактерией семян пшеницы *Bacillus mojavensis* PS17.

Ключевые слова: биологическая защита, биологические агенты, эндофитные бактерии, фитопатогенные грибы, обработка семян, опрыскивание, яровая пшеница

Для цитирования: Абрамова А.А., Сафин Р.И. Влияние применения биопрепаратов на основе различных эндофитных бактерий рода *Bacillus* на фитопатогенные микромицеты и продуктивность яровой пшеницы //Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. 3(11). С. 6-13

Введение. Для Республики Татарстан и регионов Среднего Поволжья, яровая мягкая пшеница, является основной зерновой и полевой культурой [1, 2, 3]. Вместе с тем, потенциал современных сортов данной культурой, во многом не реализуется в полном объеме, отмечаются значительные колебания урожайности по годам [4]. Среди основных причин снижения урожайности и качественных характеристик зерна яровой пшеницы, особое место занимают инфекционные болезни, важнейшими из которых являются микозы различной этиологии [5, 6, 7]. На территории Татарстана к числу наиболее распространенных и опасных микозов яровой пшеницы относятся – корневые гнили (разной этиологии), септориоз листьев и колоса, бурая листовая ржавчина и настоящая мучнистая роса [8, 9]. В существующих системах защиты растений яровой пшеницы от различных микозов, в качестве основных приемов их контроля, выступают иммуно-генетические, агротехнологические и другие профилактические меры [10, 11]. В случае массового развития инфекционных заболеваний, активно используются химические средства контроля патогенов – фунгициды, относящиеся к различным химическим группам [12, 13]. Вместе с тем, применение

фунгицидов связано как с экологическими последствиями от их применения, так и с экономическими сложностями (высокая стоимость препаратов). Кроме того, растет резистентность патогенов к ряду действующих веществ данной группы пестицидов, что также снижает эффективность их применения [14, 15]. В качестве альтернативы химическим препаратам, все большее распространение в системах защиты пшеницы приобретают биофунгициды на основе различных микроорганизмов (биологически агентов) [16, 17]. К числу наиболее распространенных биологических агентов биофунгицидов относятся спорообразующие грамположительные аэробные бактерии рода *Bacillus* [18, 19]. Среди представителей данного рода, все большее внимание для биологической защиты привлекают различные эндофитные бактерии, играющие важную и разностороннюю роль в жизни растений [20, 21]. В частности, показано положительное влияние применения данных бактерий в снижении поражения растений различными фитопатогенами [22, 23].

Целью работы было изучение влияния обработки семян различными штаммами эндофитных бактерий на развитие

различных микозов яровой пшеницы в лабораторных опытах и в полевых условиях.

Условия, материалы и методы. Объектом исследований в лабораторных и полевых опытах выступала яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Ульяновская 105. Исследования проводились в 2020-2022 году, отличающихся по агрометеорологическим условиям. Вегетационный период 2020 года был прохладным и хорошо увлажненным, тогда как в 2021 году отмечались остро-засушливые явления с экстремально высокими температурами воздуха и почвы. В 2022 году условия вегетации были достаточно благоприятными для развития яровой пшеницы.

Для исследований использовались биопрепараты у которых в качестве биологических агентов выступали – *Bacillus mojavensis* PS17 [24] и *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 [25]. Штамм *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 является факультативным эндофитом корней и стеблей растений томата, тогда как *Bacillus mojavensis* PS17 – эндофитной бактерией семян яровой пшеницы.

Схема опыта: 1. Контроль – без обработки;
2. Обработка семян *Bacillus mojavensis* PS17 (1,0 л/т) + опрыскивание *Bacillus mojavensis* PS17 (1,0 л/га) (схема с *Bacillus mojavensis* PS17);

3. Обработка семян *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 (1,0 л/т) + опрыскивание *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 (1,0 л/га) (схема с *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95);

4. Обработка семян 250+150 кс Ламадор (0,2 л/т) + опрыскивание 250 кэ ПропиШанс (0,5 л/га) (схема химическая система защита растений).

Расход рабочей жидкости при обработке семян был стандартным (10 л на т семян). Опыскивание проводилось в фазу колошения с нормой расхода рабочей жидкости 200 л/га.

В полевых опытах общая площадь делянки была 25 м², учетная – 20 м², в четырехкратной повторности. Агротехнология возделывания яровой пшеницы в полевых опытах была выбрана согласно зональным рекомендациям для Предкамья Республики Татарстан. Почва

опытных участков – слабокислая серая лесная среднесуглинистая, отличающаяся высокой окультуренностью и хорошей обеспеченностью основными элементами минерального питания.

Почвенный материал для изучения зараженности патогенными микромицетами отбирался по фазам развития яровой пшеницы. Почву отбирали в прикорневой зоне растений. Из каждой пробы отбирали 1 г почвенного материала, который в стерильных условиях размалывали до состояния мелкозема. Из размолотой почвы при помощи стерильного фосфатного буфера (PBS) делали ряд последовательных разведений которые затем высевали на чашки Петри с твердыми средами Сабуро и Чапека, в 4-х кратной повторности. Чашки Петри инкубировали в темноте при температуре 26,5°C в течение 7 суток [26]. При микроскопировании патогенных микромицетов определяли их вид с использованием определителя [27].

Фитосанитарный мониторинг корневых гнилей и листо-стеблевых инфекций проводили по общепринятым методикам [28].

Результаты и обсуждение. Перед тем, как изучать влияние биопрепаратов на развитие патогенов в полевых условиях, проверяли их фунгицидную активность в лабораторных условиях в отношении фузариозной инфекции [29]. Для этого патогенный микромицет *Fusarium oxysporum* поместили в центр агаризованной среды Чапека в виде агарового блока. Патоген инкубировали в течение 2-х суток при температуре 25°C, после чего вокруг патогена с 4-х сторон помещали каплю с живой культурой исследуемых бактериальных штаммов на расстоянии около 2-х см. Инкубировали при температуре 27°C. Через 3 и 5 суток инкубации измеряли зону лизиса: расстояние, которым патоген ограничивается от бактериальной культуры.

На рисунке 1 представлены результаты оценки фунгицидной активности штамма *B. mojavensis* PS17 по отношению к патогенному микромицету.

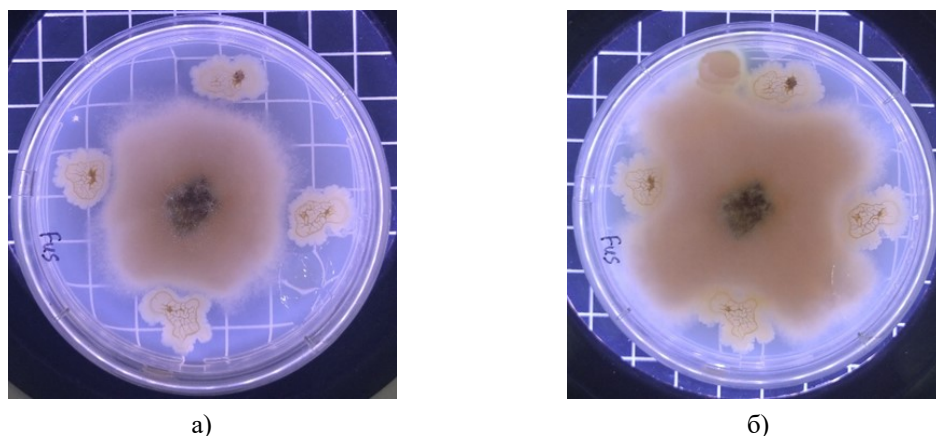


Рис. 1 – Фунгицидная активность штамма *B. mojavensis* PS17 по отношению к *Fusarium oxysporum*, а – на 3 сутки инкубации, б – на 5 сутки инкубации

На рисунке заметно, что в начале инкубации штамм *B. mojavensis* PS17 проявляет фунгицидные свойства достаточно выражено, средняя зона лизиса составила 4,75 мм. На 5-е сутки фунгицидная активность выражена меньше, но все равно заметна.

Средняя зона лизиса на 5-е сутки составила 3,00 мм.

На рисунке 2 представлены результаты опытов по оценке фунгицидной активности штамма *B. amyloliquefaciens* RECB-95 по отношению к патогену.

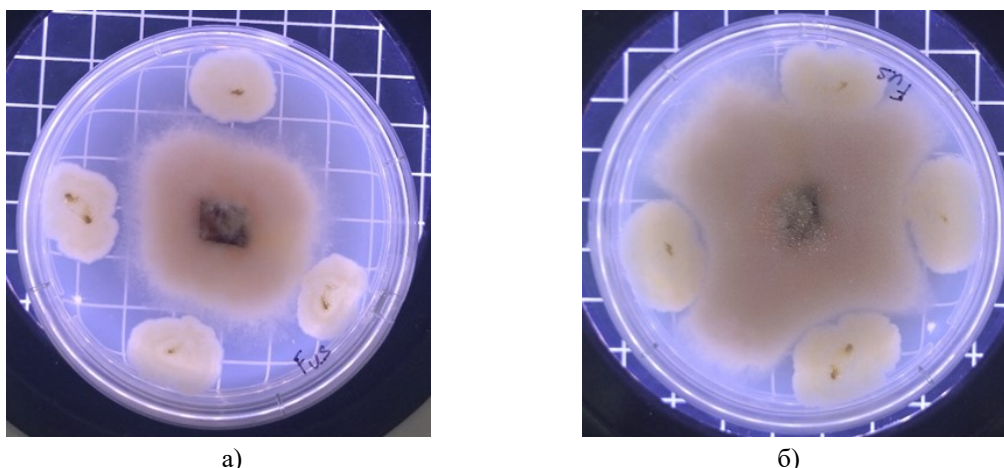


Рис. 2 – Фунгицидная активность штамма *B. amyloliquefaciens* RECB-95 по отношению к *Fusarium oxysporum*, а – на 3 сутки инкубации, б – на 5 сутки инкубации

В случае со штаммом RECB-95, на третьи сутки зона ингибирования составляет в среднем 3,15 мм. На 5-е сутки она, как и в случае с предыдущим штаммом менее выражена и составляет в среднем 2,75 мм.

Таким образом, оба изучаемых штамма эндофитных бактерий показали способность

к подавлению развития фузариозной инфекции, причем значительных отличий по данной способности между ними не отмечалось.

В таблице 1 представлены данные по оценке численности микромицетов, вызывающих корневые гнили яровой пшеницы в почве прикорневой зоны растений.

Таблица 1 – Численность фитопатогенных грибов рода *Fusarium* в прикорневой зоне растений яровой пшеницы в фазу кущения, КОЕ×10⁴ на 1 г почвы, 2020-2022 год

Вариант	2020 год	2021 год	2022 год	В среднем за 3 года
Контроль	0,20±0,01	0	0,90±0,04	0,36
Схема с <i>Bacillus mojavensis</i> PS17	0	0,50±0,02	0	0,16
Схема с <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> RECB-95	0	0,10±0,01	0	0,03
Схема с фунгицидами	0	0,20±0,01	0	0,06

Наибольшую опасность корневые гнили наносят на ранних этапах развития растений пшеницы. Результаты оценки показали, что обработка семян в 2020 и 2022 годах привела к полному подавлению фузариозной инфекции в прикорневой зоне растений пшеницы. Однако, в острозасушливом 2021 году, напротив, в контроле фузариозная инфекция не отмечалась, тогда как при использовании протравителей семян из

почвы прикорневой зоны выделялись данные микромицеты. В целом, при сравнении результатов за три года, отмечается преимущество применения *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 в сравнении с другими вариантами обработки семян пшеницы.

Другим патогеном, вызывающим корневые гнили яровой пшеницы является гриб *Cochliobolus sativus* (анаморфа *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker) (табл. 2).

Таблица 2 – Численность фитопатогенных грибов *Cochliobolus sativus* в прикорневой зоне растений яровой пшеницы в фазу кущения, КОЕ×10⁴ на 1 г почвы, 2020-2022 год

Вариант	2020 год	2021 год	2022 год	В среднем за 3 года
Контроль	0	0	0,10±0,01	0,36
Схема с <i>Bacillus mojavensis</i> PS17	0	0	0	0
Схема с <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> RECB-95	0	0	0	0
Схема с фунгицидами	0	0	0	0

АГРОНОМИЯ

В 2020-2021 году, во всех вариантах, возбудитель обыкновенной корневой гнили яровой пшеницы в почве прикорневой зоны растений не выделялся. В 2022 году, данный патоген выделялся только в контроле. Таким образом, предпосевная обработка семян эндофитными

бактериями, так же, как и химическим препаратом, во все годы исследований приводила к подавлению развития *Cochliobolus sativus* в почве прикорневой зоны растений пшеницы.

Результаты оценки распространенности корневых гнилей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Распространенность корневых гнилей яровой пшеницы в фазу всходов, %, 2020-2022 год

Вариант	2020 год	2021 год	2022 год	В среднем за 3 года
Контроль	21,2	20,0	13,0	18,06
Схема с <i>Bacillus mojavensis</i> PS17	7,9	9,0	8,4	8,43
Схема с <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> RECB-95	16,5	18,2	18,2	17,63
Схема с фунгицидами	6,5	5,3	5,0	5,60

В 2020 и 2021 годах, наблюдалась достаточно высокая распространенность корневых гнилей, тогда как в 2022 году показатель был значительно ниже. Наименьшее распространение корневых гнилей было при использовании химического протравителя семян. Среди

вариантов с эндофитными бактериями, во все годы исследований преимущество имел вариант с обработкой семян *Bacillus mojavensis* PS17.

Данные фитосанитарного мониторинга развития основных листовых микозов яровой пшеницы приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Развитие листовых микозов яровой пшеницы в фазу молочной спелости (в среднем за 3 года), %, 2020-2022 год

Вариант	Септориоз листьев	Бурая листовая ржавчина	Настоящая мучнистая роса
Контроль	46,2	35,1	35,5
Схема с <i>Bacillus mojavensis</i> PS17	18,0	24,4	24,3
Схема с <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> RECB-95	17,8	25,6	26,3
Схема с фунгицидами	13,1	32,9	14,8

В контроле, среди листовых микозов преобладал септориоз листьев, тогда как развитие болезней, вызываемых биотрофными патогенами (бурая листовая ржавчина, настоящая мучнистая роса) было ниже. Использование биологических и химической схем обработки растений способствовало значительному снижению развития всех листовых болезней, но особенно заметно септориоза листьев.

В отношении подавления развития септориоза листьев и настоящей мучнистой росы

преимущество имела схема с химическими фунгицидами, тогда как бурую листовую ржавчину лучше контролировали биопрепараты на основе эндофитных бактерий. В полевых условиях, между вариантами с биологическими агентами по эффективности контроля листовых микозов значительных различий не отмечалось.

Интегральным показателем эффективности использования приемов агротехнологии является урожайность культуры (табл. 5).

Таблица 5 – Урожайность яровой пшеницы сорта Ульяновская 105 при применении различных схем защиты от болезней, т/га 2020-2022 год

Вариант	2020 год	2021 год	2022 год	В среднем за 3 года	Прибавка к контролю, %
Контроль	3,91	2,40	3,37	3,23	
Схема с <i>Bacillus mojavensis</i> PS17	4,27	2,65	3,66	3,53	9,2
Схема с <i>amyloliquefaciens</i> RECB-95	4,30	2,68	3,45	3,47	7,4
Схема с фунгицидами	4,51	2,54	3,43	3,49	8,2
НCP ₀₅	0,19	0,10	0,15		

Урожайность яровой пшеницы сильно колебалась по годам. В контроле, наибольшая урожайность отмечалась в хорошо увлажненном 2020 году, тогда как в условиях острой засухи 2021 года показатели были в 1,63 раза ниже. В 2020 году применение химической

защиты от болезней привело к более сильному росту урожайности, чем использование биологических препаратов. В тоже время, в засушливом 2021 году, использование схем обработки с биопрепаратами обеспечило более существенный рост урожайности яровой пшеницы,

чем применение фунгицидов, что обусловлено их положительным влиянием на повышение стрессоустойчивости растений культуры. В 2022 году урожайность в вариантах с использованием схемы с *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 и схемы с фунгицидами достоверно не отличалась, тогда как при использовании схемы с *Bacillus mojavensis* PS17 наблюдался существенный рост данного показателя в сравнении с другими схемами защиты от болезней.

В среднем за годы исследований, наибольший рост урожайности – на 9,2% был обеспечен при использовании схемы защиты от болезней с *Bacillus mojavensis* PS17.

Выводы. Оба штамма эндофитных бактерий проявляют активность в подавлении развития фузариозной инфекции в лабораторных условиях.

Обнаружено преимущество применения *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 при обработке семян яровой пшеницы в подавлении фузариозной инфекции в почве прикорневой зоны растений. Предпосевная обработка семян эндофитными бактериями, так же, как и химическим препаратом, во все годы исследований приводила к подавлению развития

Cochliobolus sativus в почве прикорневой зоны растений пшеницы.

Среди вариантов с эндофитными бактериями наиболее эффективный контроль корневых гнилей на ранних этапах развития растений яровой пшеницы обеспечивался при использовании схемы с обработкой семян *Bacillus mojavensis* PS17.

Лучший контроль септориоза листьев и настоящей мучнистой росы обеспечивала схема с химическими фунгицидами, тогда как бурую листовую ржавчину лучше контролировали биопрепараты на основе эндофитных бактерий. В полевых условиях, между вариантами с разными биологическими агентами по эффективности контроля листовых микозов значительных различий не отмечалось.

Наиболее сильное положительное влияние на урожайность яровой пшеницы оказало применение биопрепаратов на основе эндофитных бактерий в условиях острозасушливого вегетационного периода 2021 года. Максимальная урожайность яровой пшеницы (на 9,2% выше контроля) обеспечивала схема биологической защиты с эндофитной бактерией семян пшеницы – *Bacillus mojavensis* PS17.

Литература

1. Формирование продуктивности экологически пластичных сортов яровой пшеницы в условиях Предволжья Республики Татарстан / И. М. Сержанов, Ф. Ш. Шайхутдинов, Р. И. Гараев [и др.] // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 2(6). С. 38-43. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-38-43>. EDN ZHTGRD.
2. Биктагирова Э. И., Сержанова А. Р. Минеральное питание яровой пшеницы при различных нормах высева на серых лесных почвах Предкамья Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 3(7). С. 6-11. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-6-11>. EDN WWOZAJ.
3. Совершенствование технологии возделывания яровой мягкой пшеницы сорта Тулайковская Надежда на серой лесной почве Республики Татарстан / И. М. Сержанов, Ф. Ш. Шайхутдинов, Р. И. Гараев [и др.] // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2023. № 3(7). С. 36-42. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-36-42>. EDN SOBBOA.
4. Оценка эффективности предпосевной обработки семян и посевов биологически активными веществами на яровой пшенице в условиях Предкамья Республики Татарстан / М. Ф. Амиров, А. Я. Сафиуллин, М. Ю. Гилязов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 5-12. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-5-12>. EDN ZIDTYJ.
5. Ассоциированные с пшеницей микромицеты и их значимость как возбудителей болезней в России / Ф. Б. Ганнибал, Т. Ю. Гагкаева, М. М. Гомжина [и др.] // Вестник защиты растений. 2022. Т. 105, № 4. С. 164-180. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15508>. EDN KLHPMB.
6. Влияние предшественника на зараженность почвы *Bipolaris sorokiniana* и вредоносность корневой гнили пшеницы / А. С. Кочоров, А. О. Сагитов, Н. Ж. Султанова [и др.] // Защита и карантин растений. 2018. № 9. С. 15-16. EDN XZIGLJ.
7. Санин С. С., Ибрагимов Т. З., Стрижекозин Ю. А. Метод расчета потерь урожая пшеницы от болезней // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 11-15. EDN YNMXGF.
8. Результаты оценки сортов яровой мягкой пшеницы на устойчивость к болезням в Казанском НЦ / Д. Ф. Асхадуллин, Д. Ф. Асхадуллин, Н. З. Василова [и др.] // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 3. С. 89-94. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-89-94>. EDN JSKQNE.
9. Лукманова А. А., Гришкин Я. В. Фитосанитарная оценка и контроль развития листовых болезней сортов яровой мягкой пшеницы в Предкамье Республики Татарстан // Агрономия, землеустройство, переработка сельскохозяйственной продукции: Материалы 81-ой студенческой (региональной) научной конференции, Казань, 21 февраля 2023 года. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2023. С. 184-191. EDN ZPMHAI.
10. Конькова Э. А. Иммунологическая оценка устойчивости озимой и яровой пшеницы к эпифитотийно опасным болезням в условиях Юго-Востока // Аграрная наука. 2019. №1. С. 91-94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-90-94>. EDN IPVAXY.
11. Impacts of climate change, forms, and excess of nitrogen fertilizers on the development of wheat fungal diseases / S. Diakite, E. N. Pakina, A. Behzad [et al.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, No. 2. P. 303-336. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-303-336>. EDN CFVBDJ.
12. Lysenko N. N., Prudnikova E. G. Efficiency of fungicide Amistar extra application on phytosanitary and physiological measurements of spring wheat // Биология в сельском хозяйстве. 2018. № 4(21). С. 17-19. EDN YPSYCT.
13. Апаева Н. Н., Тихонова Г. А. Влияние фунгицидов на развитие болезней и урожайность яровой пшеницы // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции

сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 8-11. EDN HFEXRO.

14. Щербакова Л. А. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенных грибов и их хемосенсибилизация как способ повышения защитной эффективности триазолов и стробилуринов // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 5. С. 875-891. <https://doi.org/10.15389/agrobio.2019.5.875rus>. EDN MLUFKS.

15. Гвоздева М. С., Волкова Г. В. Влияние фунгицида Колосаль на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы по признакам патогенности и чувствительности // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56, № 1. С. 52-63. <https://doi.org/10.31857/S0026364822010044>. EDN ROWMIY.

16. Власенко Н. Г., Бурлакова С. В., Егорычева М. Т. Биофунгициды в технологии выращивания яровой пшеницы // Российская сельскохозяйственная наука. 2023. № 4. С. 25-28. <https://doi.org/10.31857/S2500262723040051>. EDN JXEVUF.

17. Кекало А. Ю. Экологизированный способ защиты семян пшеницы от фитопатогенов // Аграрная наука. 2021. № 11-12. С. 129-133. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-129-133>. EDN XHU-LOC.

18. Новые эндофитные штаммы *Bacillus subtilis* как основа биофунгицидов / Р. М. Хайруллин, Т. С. Минина, Р. Ш. Захарова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2009. Т. 4, № 2(12). С. 118-123. EDN KWGZVF.

19. Влияние штаммов *Bacillus subtilis* в сочетании с салицилатом хитозана на активность пероксидазы и каталазы в листьях пшеницы при инфицировании возбудителем темно-бурой пятнистости *B. sorokiniana* / И. И. Новикова, Э. В. Попова, Н. М. Коваленко [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. 2024. Т. 60, № 2. С. 193-204. <https://doi.org/10.31857/S0555109924020093>. EDN FZVMOE.

20. Хайруллин Р. М. Об истории уфимской научной школы эндофитологов // Биомика. 2023. Т. 15, № 4. С. 224-252. <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2023-21>. EDN RHTGZD.

21. Эффективность инокуляции семян яровой пшеницы эндофитными бактериями *Bacillus subtilis* 26Д / Л. И. Пусенкова, С. Р. Гарипова, О. В. Ласточкина [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. № 3. С. 56-64. <https://doi.org/10.26178/AE.2020.19.55.005>. EDN HBDFBN.

22. A review on mechanisms and prospects of endophytic bacteria in biocontrol of plant pathogenic fungi and their plant growth-promoting activities // A. Ali Md., T. Ahmed, E. Ibrahim [et al.] // Heliyon. 2024. Vol. 10, Issue 11, e31573, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31573>.

23. Oukala N., Aissat K., Pastor V. Bacterial Endophytes: The Hidden Actor in Plant Immune Responses against Biotic Stress//Plants (Basel). 2021 May 19;10(5):1012. <https://doi.org/10.3390/plants10051012>.

24. Штамм бактерий *Bacillus mojavensis* PS17 для повышения урожайности и защиты сельскохозяйственных растений от фитопатогенных грибов / Р. И. Сафин, Л. З. Каримова, Ш. З. Валидов [и др.] // Патент RU № 2737208 С1, 26.11.2020

25. Штамм бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 для производства биопрепарата защиты сельскохозяйственных растений от стрессов, стимуляции их роста и повышения урожайности / Р. И. Сафин, Л. З. Каримова, Ш. З. Валидов [и др.] // Патент RU №2736424 С1, 17.11.2020

26. Павлова М. Д., Асатурова А. М. Изучение механизмов взаимодействия фитопатогенных грибов рр. *Fusarium* и *Pyrenophora* со штаммами-продуцентами биопрепаратов *Bacillus subtilis* // Молодой ученый. 2015. №9.2 (89.2). С. 52-54 URL: <https://moluch.ru/archive/89/18469/> (дата обращения: 16.10.2024).

27. Благовещенская Е. Ю. Фитопатогенные микромицеты. Учебный определитель. М.: Ленанд, 2015. 240 с.

28. Шутко А. П., Тутуржанс Л. В. Фитосанитарная диагностика болезней растений. Ставрополь: АГРУС, 2018. 111 с.

29. *Bacillus subtilis* strains with antifungal activity against the phytopathogenic fungi / A. M. Mardanova, G. F.Hadieva, M. T. Lutfullin [et al.] // Agricultural Sciences. 2017. 8. pp. 1-20.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Абрамова Арина Алексеевна - руководитель Центра агроэкологических исследований, e-mail: abramova92a@yandex.ru

Сафин Радик Ильясович - доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой, e-mail: radiksaf2@mail.ru <http://orcid.org/0000-0001-6276-5728>

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

THE INFLUENCE OF THE USE OF BIOPREPARATIONS BASED ON VARIOUS ENDOPHYTIC BACTERIA OF THE GENUS *BACILLUS* ON PHYTOPATHOGENIC MICROMYCETES AND PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT

A. A. Abramova, R. I. Safin

Abstract. The studies were conducted to assess the effect of using two biological biopreparations based on endophytic bacteria on phytopathogenic fungi and the productivity of spring wheat of the Ulyanovskaya 105 variety. The studies were carried out in years with both favorable (2020, 2022) and extremely dry (2021) moisture conditions during the growing season. Field experiments were laid on highly fertile gray forest soil in the Predkama zone of the Republic of Tatarstan. *Bacillus mojavensis* PS17 (endophytic seed bacterium) and *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 (endophytic root and stem bacterium) bacteria were used as biological agents. Biopreparations based on these bacteria were used for seed treatment (rate of 1 l/t) and for spraying plants in the heading phase (1.0 l/ha). The control variant was without any treatments, and the standard was the scheme using chemical fungicides (seed treatment with Lamador (0.2 l/t), spraying with PropiShans (0.5 l/ha)). In laboratory conditions, high fungicidal activity of *Bacillus mojavensis* PS17 and *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 against *Fusarium* fungi was found. An advantage of using *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 when treating spring wheat seeds in suppressing *Fusarium* infection in the soil of the root zone of plants was found. Both strains, when treated with seeds, suppressed the development of *Cochliobolus sativus* in the soil of the root zone of wheat plants. The most effective

control of root rot at the early stages of spring wheat plant development was ensured by using the scheme with seed treatment with *Bacillus mojavensis* PS17. The use of biopreparations based on endophytic bacteria reduced the development of leaf mycoses of spring wheat, and no significant differences were noted between strains in terms of disease control efficiency. The strongest positive effect on the yield of spring wheat was exerted by the use of biopreparations based on endophytic bacteria under conditions of an extremely dry vegetation period. The maximum yield of spring wheat was ensured by the biological protection scheme with the endophytic bacterium of wheat seeds *Bacillus mojavensis* PS17.

Keywords: biological protection, biological agents, endophytic bacteria, phytopathogenic fungi, seed treatment, spraying, spring wheat

For citation: Abramova A.A., Safin R.I. The influence of the use of biopreparations based on various endophytic bacteria of the genus *Bacillus* on phytopathogenic micromycetes and the productivity of spring wheat. *Agrobiotechnology and digital agriculture*. 2024; 3(11): 6-13

References

1. Serzhanov I. M., Shaykhutdinov F. SH., Garayev R. I. [Formation of productivity of ecologically plastic varieties of spring wheat in the conditions of the Volga region of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledeliye*. 2023; 2(6): 38-43. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-38-43>. EDN ZHTGRD.
2. Biktagirova E. I., Serzhanova A. R. [Mineral nutrition of spring wheat at different seeding rates on gray forest soils of the Kama region of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledeliye*. 2023; 3(7): 6-11. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-6-11>. EDN WWOZAJ.
3. Serzhanov I. M., Shaykhutdinov F. SH., Garayev R. I. [Improving the technology of cultivation of spring soft wheat variety Tulaykovskaya Nadezhda on gray forest soil of the Republic of Tatarstan]. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledeliye*. 2023; 3(7): 36-42. <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-36-42>. EDN SOBSOA.
4. Amirov M. F., Safiullin A. YA., Gilyazov M. YU. [Evaluation of the effectiveness of pre-sowing treatment of seeds and crops with biologically active substances on spring wheat in the conditions of the Kama region of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; 18. 2(70): 5-12. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-5-12>. EDN ZIDTYJ.
5. Gannibal F. B., Gagkayeva T. YU., Gomzhina M. M. [Wheat-associated micromycetes and their significance as pathogens in Russia]. *Vestnik zashchity rasteniy*. 2022; 105. 4: 164-180. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15508>. EDN KLHPMB.
6. Kochorov A. S., Sagitov A. O., Sultanova N. ZH. [Effect of Predecessor on Soil Infection with Bipolaris sorokiniana and Harmfulness of Wheat Root Rot]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018; 9: 15-16. EDN XZIGLJ.
7. Sanin S. S., Ibragimov T. Z., Strizhekozin YU. A. [Method for Calculating Wheat Yield Losses from Diseases]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018; 1: 11-15. EDN YNMXGF.
8. Askhadullin D. F., Askhadullin D. F., Vasilova N. Z. [Results of evaluation of spring soft wheat varieties for resistance to diseases in the Kazan Scientific Center] *Zernovoye khozyaystvo Rossii*. 2022; 14. 3: 89-94. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-89-94>. EDN JSKQNE.
9. Lukmanova A. A., Grishkin YA. V. [Phytosanitary assessment and control of the development of foliar diseases of spring soft wheat varieties in the Kama region of the Republic of Tatarstan]. *Agronomiya, zemleustroystvo, pererabotka sel'skokhozyaystvennoy produktsii: Materialy 81-oy studencheskoy (regional'noy) nauchnoy konferentsii, Kazan', 21 fevralya 2023 goda. Kazan': Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*. 2023. 184-191. EDN ZPMHAH.
10. Kon'kova E. A. [Immunological assessment of winter and spring wheat resistance to epiphytotic diseases in the conditions of the South-East]. *Agrarnaya nauka*. 2019; 1: 91-94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-90-94>. EDN IPVAXY.
11. Diakite S., Pakina E. N., Behzad A. Impacts of climate change, forms, and excess of nitrogen fertilizers on the development of wheat fungal diseases. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15. 2: 303-336. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-303-336>. EDN CFVBDJ.
12. Lysenko N. N., Prudnikova E. G. Efficiency of fungicide Amistar extra application on phytosanitary and physiological measurements of spring wheat. *Biologiya v sel'skom khozyaystve*. 2018; 4(21): 17-19. EDN YPSYCT.
13. Apayeva N. N., Tikhonova G. A. [Effect of fungicides on the development of diseases and yield of spring wheat]. *Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva*. 2021; 23: 8-11. EDN HFEXRO.
14. Shcherbakova L. A. [Development of resistance to fungicides in phytopathogenic fungi and their chemosensitization as a way to increase the protective efficiency of triazoles and strobilurins]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2019; 54. 5: 875-891. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.875rus>. EDN MLUFKS.
15. Gvozdeva M. S., Volkova G. V. [Influence of the fungicide Kolosal on the population structure of the causative agent of wheat brown rust based on pathogenicity and sensitivity traits]. *Mikologiya i fitopatologiya*. 2022; 56. 1: 52-63. <https://doi.org/10.31857/S0026364822010044>. EDN ROWMIY.
16. Vlasenko N. G., Burlakova S. V., Yegorycheva M. T. [Biofungicides in spring wheat cultivation technology]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2023; 4: 25-28. <https://doi.org/10.31857/S2500262723040051>. EDN JXEUVF.
17. Kekalo A. YU. [An environmentally friendly way to protect wheat seeds from phytopathogens]. *Agrarnaya nauka*. 2021; 11-12: 129-133. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-129-133>. EDN XHULOC.
18. Khayrullin R. M., Minina T. S., Zakharova R. SH. [New endophytic strains of *Bacillus subtilis* as the basis of biofungicides]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2009; 4. 2(12): 118-123. EDN KWGZVF.
19. Novikova I. I., Popova E. V., Kovalenko N. M. [The effect of *Bacillus subtilis* strains in combination with chitosan salicylate on the activity of peroxidase and catalase in wheat leaves infected with the causative agent of dark brown spot *B. sorokiniana*]. *Prikladnaya biokhimiya i mikro-biologiya*. 2024; 60. 2: 193-204. <https://doi.org/10.31857/S0555109924020093>. EDN FZVMOE.

20. Khayrullin R. M. [On the history of the Ufa scientific school of endophytologists]. *Biomika*. 2023; 15. 4: 224-252. <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2023-21>. EDN RHTGZD.
21. Pusenkova L. I., Garipova S. R., Lastochkina O. V. [Efficiency of spring wheat seed inoculation with endophytic bacteria *Bacillus subtilis* 26D]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2020; 3: 56-64. <https://doi.org/10.26178/AE.2020.19.55.005>. EDN HBDFBN.
22. Ali Md. A., Ahmed T., Ibrahim E. A review on mechanisms and prospects of endophytic bacteria in bio-control of plant pathogenic fungi and their plant growth-promoting activities. *Heliyon*. 2024; 10. Issue 11, e31573, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31573>.
23. Oukala N, Aissat K, Pastor V. Bacterial Endophytes: The Hidden Actor in Plant Immune Responses against Biotic Stress//*Plants (Basel)*. 2021 May 19; 10(5): 1012. <https://doi.org/10.3390/plants10051012>.
24. *Bacillus mojavensis* PSI7 bacterial strain for increasing crop yields and protecting agricultural plants from phytopathogenic fungi. Patent RU № 2737208 C1, 26.11.2020
25. *Bacillus amyloliquefaciens* RECB-95 bacterial strain for the production of a biopreparation for protecting agricultural plants from stress, stimulating their growth and increasing yields. Patent RU №2736424 C1, 17.11.2020
26. Pavlova M. D., Asaturova A. M. [Study of the mechanisms of interaction of phytopathogenic fungi of the pp. *Fusarium* and *Pyrenophora* with strains producing *Bacillus subtilis* biopreparations] *Molodoy uchenyy*. 2015; 9.2 (89.2): 52-54 URL: <https://moluch.ru/archive/89/18469>
27. Blagoveshchenskaya Ye. YU. *Fitopatogennyye mikromicety [Phytopathogenic micromycetes. Educational guide.]* M.: Lenand. 2015. 240.
28. Shutko A. P., Tuturzhans L. V. *Fitosanitarnaya diagnostika boleznej rasteni [Phytopathological diagnostics of plant diseases]* Stavropol': AGRUS. 2018. 111.
29. Mardanova A. M., Hadieva G. F., Lutfullin M. T. *Bacillus subtilis* strains with antifungal activity against the phytopathogenic fungi. *Agricultural Sciences*. 2017. 8.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Abramova Arina Alekseevna - head of the Center for Agroecological Research, e-mail: abramova92a@yandex.ru
Safin Radik Ilyasovich - Doctor of Agricultural Sciences, head of the department, e-mail: radiksaf2@mail.ru,
<http://orcid.org/0000-0001-6276-5728>
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.