

ПОЛЕВАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ

А.А. МАРТЫНОВ, Н.А. БОМЕ, В.А. ЮРКОВА, Д.А. БАЗЮК

(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Тюменский государственный университет»)

*Изучено влияние предпосевной обработки семян двух сортов (Тюменская 25 и Шортандинская 95 улучшенная) яровой мягкой пшеницы биопрепаратами на полевую всхожесть семян, биологическую устойчивость и выживаемость растений в течение вегетационного периода во взаимосвязи с продуктивностью. Исследование проводилось в полевых условиях (экспериментальный участок биостанции Тюменского государственного университета «Озеро Кучак») на дерново-подзолистой почве, супесчаной по гранулометрическому составу. Погодные условия по годам исследования характеризовались как засушливые в 2020 г. (ГТК=0,86), очень засушливые в 2021 г. (ГТК=0,39) и слабо засушливые в 2022 г. (ГТК=1,0). Биопрепараты способствовали повышению полевой всхожести семян (до 16,1%, сорт Тюменская 25) и биологической устойчивости растений (до 14,1%, сорт Шортандинская 95 улучшенная). Наибольший эффект получен в варианте с Консорциумом штаммов *Bacillus simplex* 948 P-1 TS и *Bacillus megaterium* 312 TS. Инокуляция семян способствовала повышению выживаемости растений в период вегетации, при этом большей отзывчивостью на действие биопрепаратов характеризовался сорт Шортандинская 95 улучшенная. У этого сорта в среднем за три года получена максимальная урожайность зерна в вариантах с применением Цитогумата (2,27 т/га) и Консорциума штаммов (2,14 т/га) (выше контроля на 28,9 и 21,5% соответственно). После обработки семян биологическими препаратами снижалась распространенность мучнистой росы и бурой ржавчины на естественном фоне. На опытных делянках с АФГ, Альбитом (Тюменская 25), АФГ, Бисолбисаном, Бисолбифитом и Консорциумом штаммов (Шортандинская 95 улучшенная) в отличие от контроля не обнаружены признаки поражения растений мучнистой росой.*

Ключевые слова: биопрепараты, обработка семян, биологический эффект, полевая всхожесть, фитопатогены, продуктивность, устойчивость

Статья подготовлена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № FEWZ-2021–0007 «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Завуралья».

Введение

Ухудшение состояния окружающей среды вызывает острую необходимость замены химических препаратов, используемых при обработке как семян, так и вегетирующих растений сельскохозяйственных культур, на эффективные биопрепараты разнонаправленного действия. Следует отметить, что до настоящего времени для снижения инфекционного фона, обеспечения устойчивости растений к болезням используется обработка семян перед посевом различными фунгицидами (протравливание). Применение химических средств защиты растений в условиях холодного климата нередко бывает малоэффективным для борьбы с грибными болезнями, что связано с замедлением химических реакций и медленной деградацией пестицидов [17, 21].

В связи с этим поиск биопрепаратов для улучшения роста растений, повышения устойчивости к фитопатогенам и повышения урожайности даже в неблагоприятных температурных условиях является одной из важных задач.

Предпосевная обработка рассматривается как агрономический рычаг для активации процессов прорастания семян, формирования и укоренения всходов, повышения урожайности [15, 19]. Начальные процессы онтогенеза у многих сельскохозяйственных растений являются наиболее чувствительными к воздействию стресс-факторов (засуха, засоление почв, температурный режим) [16, 20, 23]. Для минимизации неблагоприятного абиотического и биотического воздействия окружающей среды рекомендован ряд биологических препаратов, обеспечивающих защиту от грибных заболеваний, активацию и регуляцию ростовых процессов растений [1, 2]. Многообразие отечественных биопрепаратов способно к обеспечению реализации потенциала сортовых свойств сельскохозяйственных растений и сведению к минимуму наносимого ущерба от неблагоприятных погодных условий [12].

Цель исследований: изучение влияния биопрепаратов на способность семян яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к прорастанию, выживаемость и биологическую устойчивость растений во взаимосвязи с урожайностью.

В задачи исследований входило изучение потенциала предпосевной обработки семян биопрепаратами для повышения полевой всхожести, абиотической и биотической устойчивости, продуктивности растений пшеницы в условиях вегетационных периодов 2020–2022 гг.

Материал и методика исследований

Исследование проведено на кафедре ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии Тюменского государственного университета.

Биопрепараты, использованные для обработки семян, различались по механизму действия на растительный организм (информация о биопрепаратах взята с сайтов производителей).

Альбит – комплексный биопрепарат (состав: естественный биополимер поли-бета-гидроксимасляная кислота из почвенных бактерий *Bacillus megaterium*, магний серноокислый, калий фосфорнокислый, калий азотнокислый, карбамид, хвойный экстракт). Цитогумат – универсальный, низкомолекулярный гуминовый высокочастотный хелатор (фульвовая кислота, фосфор, кальций, калий, сера, ненасыщенные жирные кислоты). Экстрасол – биофунгицид, созданный на основе бактерий *Bacillus subtilis*, штамм Ч-13 и их метаболитов (антибиотики, ферменты). Бисолбифит – микробиологическое удобрение (сухая форма препарата Экстрасол), дополнительный эффект обеспечивает доступный кремний. Бисолбисан – фунгицид и бактерицид контактного действия, действующее вещество – *Bacillus subtilis*, штамм Ч-13. АФГ – бактериально-гуминовый комплекс бактерицидного действия, в составе которого – споровая биомасса бактерий *Bacillus subtilis* и *Bacillus amyloliquefaciens*. АФГ-В – бактериально-гуминовый комплекс (состав: споровая биомасса бактерий *Bacillus subtilis* и *Bacillus amyloliquefaciens*, дополнена гуминовыми веществами, фульвокислотами, азотом, фосфором, калием, кальцием).

Препараты Альбит, Бисолбисан разрешены к применению на территории Российской Федерации в 2023 г.

Консорциум штаммов *Bacillus simplex* 948 P-1 TS и *Bacillus megaterium* 312 TS – бактерии, выделенные из мерзлых пород, Западной Сибири, Ямало-Ненецкого автономного округа (район Тарко-Сале), подавляют рост фитопатогенов [7]. Видовая идентификация этих штаммов проводилась по культурально-морфологическим

и физиолого-биохимическим свойствам. Для подтверждения таксономического статуса штаммы бактерий идентифицировали путем анализа последовательностей фрагментов гена 16SpPHK, полученных в реакции ПЦР с использованием праймеров 8f (AGA GTT TGA TCC TGG CTC AG), 926r (CCG TCA ATT CCT TTR AGT TT) и 1492r (GGT TAC CCT TGT TAC GAC TT). Секвенирование осуществляли в ГосНИИгенетики (Москва). Полученные нуклеотидные последовательности сравнивали с последовательностями из международного банка данных NCBI с помощью пакета программ BLAST (URL: <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Для редактирования и выравнивания нуклеотидных последовательностей генов 16SpPHK использовали программу ClustalW2, а для филогенетического анализа – программу MEGA, версия 5.2 [8].

Для приготовления рабочих растворов биопрепараты растворяли в дистиллированной воде в следующих соотношениях: АФГ, АФГ-В, Цитогумат, Альбит, Бисолбисан и Экстрасол – 80 мл (вода): 20 мл (препарат); Бисолбифит – 0,5 г (порошок): 100 мл (вода). Концентрации растворов подбирали с учетом рекомендаций производителей и источников литературы.

Штаммы бактерий выращивали на питательной среде – мясо-пептонном агаре (МПА) в термостате при температуре 28 °С в течение 2 сут. Затем путем смыва стерильной дистиллированной водой готовили бактериальную суспензию, содержащую 10⁶ кл/мл с использованием камеры Горяева. Консорциум представлял собой водную суспензию двух бактериальных штаммов *Bacillus simplex* 948 P-1 TS и *Bacillus megaterium* 312 TS в соотношении 1:1 (50 мл: 50 мл).

Исследование проведено на двух сортах яровой мягкой пшеницы: Тюменская 25 и Шортандинская 95 улучшенная. Сорт Тюменская 25 селекции ФИЦ «Тюменский научный центр СО РАН» включен в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону, рекомендован для возделывания в зонах Подтайги и Северной лесостепи низменности Тюменской области. Сорт Шортандинская 95 – улучшенная селекции ННЦ Зернового хозяйства им. А.И. Бараева – рекомендован для возделывания в Акмолинской и Северо-Казахстанской областях. По результатам экологического испытания сорт предложен для включения в селекционные программы по Северному Зауралью по комплексу хозяйственно-ценных признаков.

Лабораторная всхожесть семян, полученных от оригинаторов сортов, была определена в соответствии с ГОСТ 12038 84 и составила в годы исследования 92,5–94,0%. Семена выдерживали в растворах биопрепаратов в течение 3 ч, контроль – в дистиллированной воде.

Полевое испытание проведено на экспериментальном полигоне для изучения генетического разнообразия культурных растений (Тюменская область, Нижнетавдинский район, биостанция Тюменского государственного университета «Озеро Кучак», 57°20'57.3»N66°03'21.8»E в 2020–2022 гг. Экспериментальные данные получены в модельных опытах на делянках с учетной площадью 1 м², повторность опыта 4-кратная, количество высеянных семян на 1 м²–600 шт. (из расчета 6,0 млн всхожих семян/га), междурядье – 20 см. Посев проводили во второй декаде мая, уборку – в фазе полной спелости зерна ручным способом. Почва дерново-подзолистая, супесчаная по гранулометрическому составу, содержание гумуса – 3,67%, кислотность в солевой вытяжке – близкая к нейтральной (рН 6,6); подвижных форм фосфора 433,3 мг/кг почвы, обменного калия – 234,0 мг/кг. Предшественник – лен-долгунец. Минеральные удобрения и химические средства защиты растений в опыте не применялись.

Полевую всхожесть рассчитывали как процентное отношение числа всходов к числу высеянных семян [10]; выживаемость растений – отношением числа растений, сохранившихся к уборке, к числу полных всходов [4]; биологическую

устойчивость – отношением числа растений, сохранившихся к уборке, к числу высеянных семян [6]. Масса 1000 семян определялась по двум навескам из 500 семян (ГОСТ-12042–80) [5].

Поражение растений листостебельными болезнями на естественном фоне определяли одновременным осмотром каждой делянки в период максимального проявления болезни по количеству пораженных растений и степени поражения листьев больных растений. Для сравнения опытных вариантов использовали 5-балльную шкалу: 1 – признаки поражения болезнью на единичных растениях (до 10%); 2 – поражено 10–15% растений; 3 – поражено 25–50%; 4 – поражено 40–75%; 5 – поражено свыше 75% растений [3].

Данные по среднесуточной температуре воздуха и осадкам получены со справочно-информационного портала «Погода и климат» (URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>) и профессиональной локальной метеостанции IMetos IMT300, установленной на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак». Для характеристики вегетационных периодов по увлажнению использовали гидротермический коэффициент (ГТК) [14].

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по апробированным методикам [9, 12] с использованием табличного процессора Microsoft Excel и программного обеспечения STATISTICA 6.0 («StatSoft», Inc., США). Рассчитаны средние значения (\bar{X} ср.), ошибки средних ($S_{\bar{x}}$), коэффициент вариации (CV , %), достоверности различий между средними значениями вариантов с использованием t -критерия Стьюдента; выполнен корреляционный анализ.

Результаты и их обсуждение

Вегетационные периоды по гидротермическому режиму можно характеризовать в 2020 г. как засушливый (ГТК=0,89), 2021 г. – очень засушливый (ГТК=0,39), в 2022 г. – слабо засушливый (ГТК=1,0). Для выявления особенностей каждого вегетационного периода проведено сравнение метеорологических характеристик со средними многолетними значениями («Условная норма»). В 2020 г. существенный недостаток влаги растения испытывали в июле (21% к среднему многолетнему значению; май, июнь, август – 91–123%), при этом среднесуточная температура воздуха составила 21,5^oC (превышение – 2,7^oC). Период с мая по август в 2021 г. характеризовался повышенной температурой по сравнению со средним многолетним значением на 1,0–5,6^oC на фоне существенного недостатка осадков (10–57% по отношению к условной норме). Анализ среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период 2022 г. выявил отклонение от средних многолетних значений в июне (ниже на 1,3^oC), июле (выше на 0,9^oC), августе (выше на 1,8^oC). Количество осадков только в мае было близким к условной норме, в остальные месяцы отношение изменялось от 46,7 (август) до 91,6% (июль).

Прорастание семян, скорость появления всходов, количество всходов на единице площади в дальнейшем определяют рост и развитие растений и урожайность. Анализ экспериментальных данных показал, что влияние предпосевной обработки на полевую всхожесть семян зависело от препарата, генотипа и метеорологических характеристик вегетационного периода.

В среднем за 3 года исследований наибольший эффект на начальном этапе онтогенеза был получен в варианте обработки Консорциумом штаммов *Bacillus simplex* 948 P-1 TS и *Bacillus megaterium* 312 TS (табл. 1).

В ранее проведенном исследовании на озимой пшенице положительный эффект от обработки семян каждым штаммом *B. simplex* 948 P1 и *B. megaterium* 312 отдельно получен не был. Увеличение урожайности было зафиксировано после использования на семенах суспензии консорциума штаммов [18].

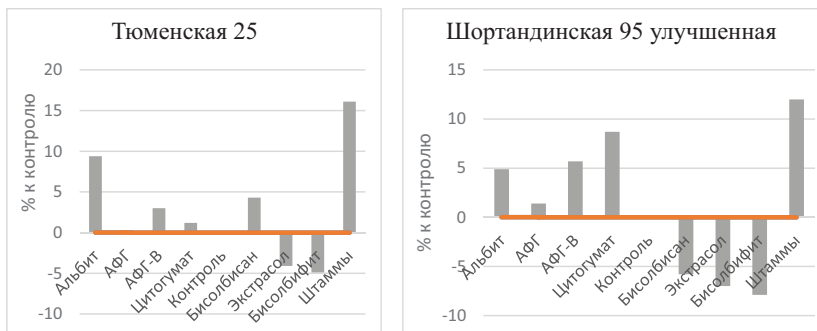
Таблица 1

Влияние биопрепаратов на прорастание семян, устойчивость к факторам окружающей среды и продуктивность

Биопрепарат	Полевая всхожесть семян, %	Биологическая устойчивость, %	Выживаемость растений, %	Масса 1000 семян, г	Урожайность, т/га
Тюменская 25					
Контроль	68,4±3,9	52,6±3,1	77,0±2,8	31,58±2,6	1,91±0,08
АФГ	68,7±4,6	49,6±1,9	76,0±1,8	30,30±1,5	1,83±0,11
АФГ-В	71,4±3,8	62,1±1,7***	86,0±2,1*	28,73±0,5	2,12±0,20
Цитогумат	69,6±5,6	64,5±2,1***	87,5±2,2**	30,51±1,5	2,14±0,08*
Альбит	77,8±2,1*	55,8±2,9	70,1±1,4*	29,23±4,4	1,82±0,13
Бисолбисан	72,7±1,8	65,9±1,9***	76,2±1,1	28,98±2,9	1,81±0,13
Экстрасол	64,3±4,6	61,1±2,4*	85,2±2,3*	28,65±2,2	1,66±0,10*
Бисолбифит	63,5±5,8	56,7±2,5	77,1±1,7	27,64±1,5	1,63±0,11*
Штаммы	84,5±4,7**	68,7±2,8***	86,6±1,4**	26,24±1,1	1,96±0,27
Шортандинская 95 улучшенная					
Контроль	68,3±1,7	54,5±2,8	70,9±1,8	31,39±1,7	1,76±0,11
АФГ	69,7±3,7	54,4±2,4	80,8±2,9**	29,42±0,3	2,03±0,14
АФГ-В	74,0±3,1	61,9±2,4*	75,3±2,0	31,29±1,5	2,05±0,11
Цитогумат	77,0±3,4*	62,3±2,1*	81,2±2,5**	30,85±0,2	2,27±0,12**
Альбит	73,2±3,3	58,1±3,5	75,7±1,9	31,88±2,4	2,05±0,10
Бисолбисан	62,5±1,4**	57,4±2,3	86,0±2,1***	27,95±0,1*	1,81±0,18
Экстрасол	61,3±2,7*	60,4±2,7	78,2±2,1***	31,10±3,8	1,54±0,09
Бисолбифит	60,4±5,4	53,3±2,9	76,6±2,6	28,49±0,6	1,67±0,15
Консорциум штаммов	80,3±3,6***	69,1±3,0***	80,5±2,0***	26,26±0,7**	2,14±0,07*

Примечание. Достоверность различий с контролем: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Применение бактерий на семенах яровой пшеницы обеспечило увеличение полевой всхожести на 16,1% у сорта Тюменская 25 и на 12,0% у сорта Шортандинская 95 улучшенная (рис. 1, табл. 1). При этом больше действие бактерий у первого сорта было выражено в 2020 и 2022 гг., у второго – в 2022 г. Возможно, это связано с тем, что штаммы, выделенные из многолетних мерзлых пород, обладают высокой каталазной активностью, позволяющей вести активный образ жизни в условиях низких положительных и отрицательных температур (диапазон от 0 до 30⁰С) [8].

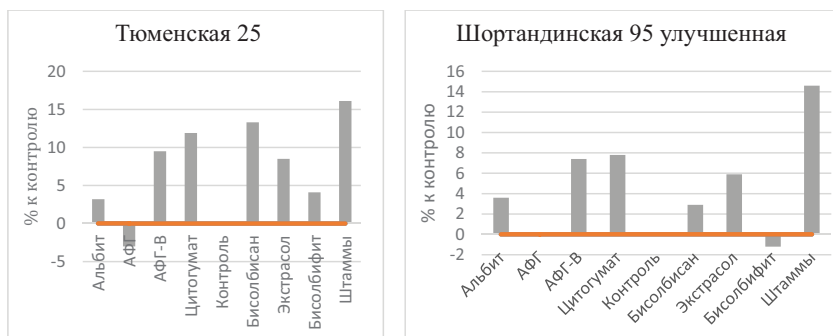


Примечание. На вертикальной оси 0 – сплошная горизонтальная линия (контроль); на графике показаны отклонения от контроля.

Рис. 1. Влияние биопрепаратов на полевую всхожесть семян сортов яровой мягкой пшеницы, 2020–2022 гг.

Было установлено, что исследуемые штаммы способны продуцировать индолил-3-уксусную кислоту (ИУК) и хитинолитические ферменты при низких положительных температурах (5⁰С). Активность холодоустойчивых *Bacillus* sp. регистрировалась в отношении *Microdochium* sp., *Fusarium* spp. и *Alternaria* sp. [18]. Исходя из этого, предположили, что не все препараты могут быть эффективными при пониженных температурах воздуха и почвы в начале вегетации растений. Повышение всхожести по сравнению с необработанными семенами отмечено также в вариантах с АфГ-В и Альбитом, в состав которых входят штаммы *Bacillus*, а также с Цитогуматом, обеспечивающим доступность питательных веществ проросткам пшеницы. Ингибирующее действие на прорастание семян изученных сортов оказали Экстрасол и Бисолбифит: меньше контроля на 4,4–4,9% у сорта Тюменская 25, на 7,0–7,9% – у сорта Шортандинская 95 улучшенная.

Биологическая устойчивость растений позволяет понять, насколько посев семенами, обработанными препаратами, может смягчить действие изменения климата на агроценозы за счет устойчивости к стресс-факторам от этапа прорастания семян до полной спелости. Повышенные адаптивные свойства растений, полученных из семян, обработанных штаммами из пород с многолетней мерзлотой, проявились в увеличении показателя биологической устойчивости в среднем за 2020–2022 гг. на 16,1% у сорта Тюменская 25 и на 14,6% у сорта Шортандинская 95 улучшенная. Предпосевная обработка семян другими препаратами в большинстве случаев (за исключением препаратов АфГ и Бисолбифит) повышала устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды (рис. 2, табл. 1).



Примечание. На вертикальной оси 0 – сплошная горизонтальная линия (контроль); на графике показаны отклонения от контроля.

Рис. 2. Влияние биопрепаратов на биологическую устойчивость растений сортов яровой мягкой пшеницы, 2020–2022 гг.

На разных этапах онтогенеза растения находятся под воздействием целого ряда факторов, в том числе неблагоприятных, приводящих к угнетению и ингибированию ростовых процессов, и даже к гибели растений. Информативным критерием, характеризующим адаптивные свойства, является выживаемость растений за период от всходов до спелости зерна. Высокой отзывчивостью на инокуляцию семян препаратами характеризовался сорт Шортандинская 95 улучшенная. При сравнении с контролем обнаружено повышение выживаемости растений во всех опытных вариантах на 4,4–15,1%, при этом лучшие результаты обеспечили Бисолбисан, Цитогумат, АФГ и Консорциум штаммов (табл. 1).

Комплексный анализ показателей полевой всхожести семян, выживаемости и биологической устойчивости растений позволил выявить особенности действия изученных препаратов. Так, Бисолбисан, Экстасол, Бисолбифит, АФГ не были активными при прорастании семян, в то время как АФГ-В, Цитогумат, Альбит, Консорциум штаммов способствовали повышению адаптивных свойств растений пшеницы в течение всего вегетационного периода.

У сорта Тюменская 25 преимущество над контролем по выживаемости растений обеспечили 4 препарата: АФГ-В, Цитогумат, Экстасол и Консорциум штаммов. По комплексу признаков стимулирующее действие АФГ и Бисолбифит не выявлено.

В годы исследований наблюдалось поражение листьев растений изученных сортов яровой пшеницы бурой ржавчиной (возбудитель *Puccinia recondite f. sp. tritici*) и мучнистой росой (возбудитель *Blumeria graminis* (DS.) Speer.). Наиболее благоприятные условия для развития фитопатогенных грибов сложились в 2020 г. Первые признаки листовых болезней отмечали в период цветения-начала созревания зерна. Максимальное проявление мучнистой росы регистрировалось в фазу молочной спелости зерна, бурой ржавчины – в фазу начала восковой спелости.

Предпосевная обработка семян препаратами способствовала уменьшению воздействия фитопатогенных грибов, что подтверждено соотношением количества здоровых и пораженных болезнями растений в контроле и в вариантах с обработкой семян (рис. 3).

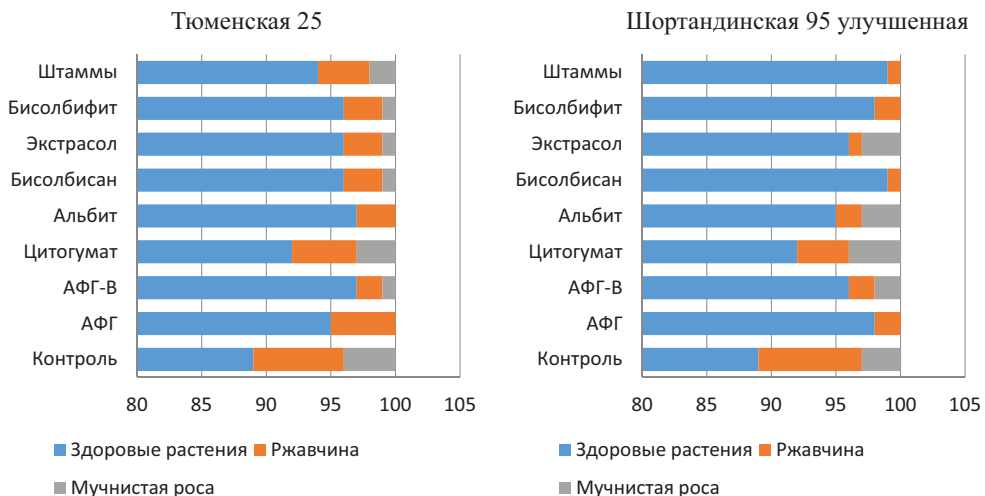


Рис. 3. Поражение растений яровой пшеницы листовыми болезнями на естественном инфекционном фоне после обработки семян биопрепаратами (распространенность болезни, %)

Под воздействием биопрепаратов отмечено снижение распространения мучнистой росы и бурой ржавчины по сравнению с контролем. Сорты различались по реакции на поражение патогенами. По отношению к мучнистой росе для сорта Тюменская 25 наибольший эффект получен от препаратов АФГ и Альбит, в вариантах с которыми симптомы мучнистой росы на растениях не зарегистрированы. У сорта Шортандинская 95 улучшенный положительный результат по влиянию на распространенность болезни получен от применения на семенах АФГ, Бисолбисана, Бисолбифита и Консорциума штаммов. Поражение листьев растений пшеницы бурой ржавчиной, хотя и проявлялось во всех вариантах, значительно ослабевало под влиянием биологической обработки. Степень поражения листьев (по шкале Эриксона) в контроле изменялась по годам от средней (25%) до высокой (40%), в вариантах с препаратами – от средней (25%) до слабой (10%).

В состав наиболее активных препаратов входят бактерии рода *Bacillus* spp. Так, штамм *Bacillus subtilis* Н-13 (коммерческое название Бисолбисан) создан для борьбы с комплексом болезней растений Всероссийским НИИ сельскохозяйственной микробиологии, снижает распространенность корневых гнилей, повышает урожайность и улучшает качество зерна яровой пшеницы [22]. Положительные результаты получены от совместного применения химического протравителя семян и биофунгицида на основе *Bacillus subtilis* при защите пшеницы от почвенно-семенных инфекций [13]. Повышение урожайности и устойчивости к болезням было достигнуто при инокуляции семян пшеницы штаммом *Pseudomonas* CP56 и штаммом *Bacillus* SB155 [24]. В консорциуме из двух штаммов *Bacillus* spp., выделенных из многолетней мерзлоты, один продуцирует фитогормоны, другой обладает подавляющей способностью в отношении фитопатогенов, что позволило значительно снизить уровень инфицирования семян озимой пшеницы фитопатогенными грибами и получить прибавку в урожайности [18]. Полученные результаты отражают значение штаммов *Bacillus* spp. при использовании в качестве активного агента в биопрепаратах. В северных агроценозах в средствах биоконтроля возбудителей болезней преимущество могут иметь микроорганизмы из многолетнемерзлых пород, обладающие устойчивостью к пониженным температурам воздуха и почвы.

Учитывая, что эффект от применения биопрепаратов может быть результатом множественного воздействия на метаболизм яровой пшеницы, провели анализ продуктивности сортов по показателям массы 1000 семян и урожайности (табл. 1). Информация о потенциале обработок семян с точки зрения продуктивности может быть полезна для разработки технологии выращивания яровой мягкой пшеницы.

По нашим наблюдениям, формирование зерна зависит от погодных условий, генотипа и биопрепарата. Снижение массы 1000 семян у обоих сортов в контроле и опытных вариантах отмечено в условиях водного и теплового стресса 2021 г. У сорта Тюменская 25 варьирование признака в вариантах с обработкой семян составило 24,4–26,9 г (контроль 26,6 г), у сорта Шортандинская 95 улучшенная – 24,8–26,3 г (контроль 26,5 г). Наиболее крупные зерновки были в колосе сорта Шортандинская 95 улучшенная в 2022 г. (до 40,3 г в варианте с Цитогуматом, контроль – 36,2 г).

В очень засушливом 2021 г. не выявлены достоверные различия между вариантами с обработкой и без обработки семян. В среднем за 3 года исследований увеличение массы 1000 семян под влиянием препаратов не выявлено. Необходимо отметить, что масса 1000 семян сорта Тюменская 25 была достоверно ниже контроля после обработки Штаммами, в то время как по признакам адаптации этот вариант имел значительное преимущество над другими.

Следует отметить, что в экстремальных условиях 2021 г. не выявлено положительное влияние биопрепаратов на урожайность зерна у сорта Тюменская 25.

Обработка семян сорта Шортандинская улучшенная АФГ, АФГ-В, Цитогуматом, Альбитом способствовала увеличению урожайности по сравнению с контролем на 7,8–20,4%. Наибольшая урожайность получена в относительно благоприятном по влагообеспеченности 2020 году. По вариантам опыта она изменялась у сорта Тюменская 25 от 2,11 до 2,65 т/га (контроль – 2,22 т/га), сорта Шортандинская 95 улучшенная – от 1,83 до 2,76 т/га (контроль – 2,36 т/га). В 2022 г. увеличение зерновой продуктивности у обоих сортов обеспечили АФГ-В, Консорциум штаммов и Цитогумат. Самый высокий результат получен от препарата Цитогумат (на 0,45 т/га, Тюменская 25–0,73 т/га, Шортандинская 95 улучшенная – больше, чем в контроле).

В среднем за 2020–2022 гг. максимальная прибавка урожайности по отношению к контролю получена у сорта Шортандинская 95 улучшенная после инокуляции семян Цитогуматом (+28,9%) и Консорциумом штаммов (+21,5%). В вариантах с биопрепаратами АФГ, АФГ-В, Альбит увеличение урожайности по сравнению с вариантом без обработки составило 15,5; 16,2; и 16,4% соответственно. Отзывчивость сорта Тюменская 25 на применение препаратов оказалась ниже. Превышение урожайности над контролем отмечено в опыте с Цитогуматом (+11,7%), АФГ-В (+10,8%), Консорциумом штаммов (+2,2%).

Корреляционный анализ выявил сопряженности между изученными признаками. Под действием АФГ, Альбита, Экстрасола, Бисолбифита отмечено усиление связи биологической устойчивости растений с урожайностью сорта Тюменская 25 ($r=0,71-0,99$; контроль $r=0,50$). В опыте с сортом Шортандинская 95 улучшенная сильная зависимость зерновой продуктивности от биологической устойчивости обнаружена в опыте с Цитогуматом, Консорциумом штаммов, АФГ, Бисолбисаном ($r=0,93-1,00$; контроль $r=0,73$). Полученные данные позволяют считать рассматриваемые признаки достаточно информативными при определении биологического эффекта биопрепаратов на сортах яровой мягкой пшеницы.

Выводы

Предпосевная обработка семян яровой мягкой пшеницы (сорта Тюменская 25 и шортандинская 95 улучшенная) биологическими препаратами способствовала улучшению способности семян к прорастанию, повышению выживаемости и биологической устойчивости растений в различных условиях вегетационных периодов 2020–2022 гг.

Исследование подтверждает, что предпосевную обработку семян можно рассматривать как один из инструментов снижения вредоносности фитопатогенных грибов и улучшения продуктивных свойств растений пшеницы. В то же время экспериментальные данные показали, что эффективность обработки определяется научно обоснованным подбором биопрепаратов с учетом генотипических особенностей сортов и погодных условий периода вегетации.

Библиографический список

1. Боме Н.А., Королев К.П., Тяжников Н.В., Боме А.Я. Современные технологии изучения и сохранения генетических ресурсов: УМП. Ч. II. Полевые методы исследования культурных растений. – Тюмень: ФГБАОУ «Тюменский государственный университет», 2018. – 35 с.
2. Бондарева Т.Н., Дагужиева З.Ш. Влияние регуляторов роста растений и биопрепаратов на продуктивность озимой пшеницы в условиях Республики Адыгея // Новые технологии. – 2017. – № 4. – С. 81–86.

3. Власенко Н.Г., Бурлакова С.В., Егорычева М.Т. Эффективность обработки семян яровой пшеницы Триходермином и Споробактерином // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 52 (5). – С. 5–14.
4. Голочаев В.И., Кириловская Е.В. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: МУ. – М., 1989. – 194 с.
5. ГОСТ-12042–80–2011 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. – М.: Стандартинформ, 2011. – С. 116–118.
6. Гужов Ю.Л., Фукс А., Валичек П. Селекция и семеноводство культурных растений. – М.: Мир, 2003. – 539 с.
7. Доманская О.В., Колоколова Н.Н., Франк Я.В. Изучение антифунгальной активности бактерий рода *Bacillus* из мерзлых отложений Западной Сибири // Вестник защиты растений. – 2016. – № 3 (89). – С. 67–68.
8. Доманская О.В. Некоторые особенности ферментативной активности различных штаммов рода *Bacillus*, выделенных из мерзлых отложений / О.В. Доманская, В.П. Мельников, Л.В. Огурцова, А.В. Соромотин, В.О. Доманский, Н.В. Полякова // Криосфера земли. – 2017. – Т. XXI. – № 5. – С. 63–71.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
10. Ижик Н.К. Полевая всхожесть семян: М. – Киев: Урожай, 1976. – 200 с.
11. Кекало А.Ю. Экологизированный способ защиты семян пшеницы от фитопатогенов // Аграрная наука. – 2021. – № 354 (11–12). – С. 129–133.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1980. – 295 с.
13. Нугманова Т.А. Использование биопрепаратов для растениеводства // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2017. – № 144 (1). – С. 211–214.
14. Селянинов Г.Т. К методике сельскохозяйственной климатографии // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1930. – № 2. – Вып. 22. – С. 45–91.
15. *Almansouri M., Kinet J.* – М., *Lutts S.* Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // *Plant and Soil.* – 2001. – № 2. – Pp. 243–254.
16. *Ansari O., Sharif-Zadeh F.* Osmo and hydro priming improvement germination characteristics and enzyme activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress // *Journal of Stress Physiology and Biochemistry.* – 2012. – № 8 (4). – Pp. 101–108.
17. *Basu A.* Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects / A. Basu, P. Prasad, S. Das, S. Kalam, R. Sayyed, M. Reddy, H.El. Enshasy // *Sustainability.* – 2021. – № 13. – Pp. 1–20.
18. *Domanskaya O.V.* The Multiple Activities and the Plant Beneficial Potential of *Bacillus* spp. Derived from the Permafrost of Western Siberia / O.V. Domanskaya N.A Bome A.V. Iashnikov, A.V. Vasilchenko, A.S. Vasilchenko // *Agronomy.* – 2021. – № 11. – Pp. 2347.
19. *Murungu F.S.* Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.) / F.S. Murungu, P. Nyamugafata, C. Chiduzza, L.J. Clark, W.R. Whalley // *Soil Till.* – 2003. – № 74. – Pp. 161–168.
20. *Patade V.Y., Kumari M., Ahmed Seed Z.* Priming Mediated Germination Improvement and Tolerance to Subsequent Exposure to Cold and Salt Stress in *Capsicum* // *Research Journal of Seed Science.* – 2011. – № 4 (3). – Pp. 125–136.
21. *Prank M.* Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease / M. Prank, S.C. Kenaley, G. Bergstrom, M. Acevedo, N.M. Mahowald // *Environ. Res. Lett.* – 2019. – № 14. – Pp. 1–9.

22. Razina A., Dyatlova O. Biological protection of spring wheat from root rot in the forest-steppe zone of Eastern Siberia // BIO Web Conf. – 2020. – № 21. – C. 00034.
23. Rouhi H.R. Study of Different Priming Treatments on Germination Traits of Soybean Seed Lots / H.R. Rouhi, A.A. Surki, F. Sharifzadeh, R.T. Afshari // Notulae Scientia Biologicae. – 2011. – № 3 (1). – Pp. 101–108.
24. Sangwan V.P., Dahiya O.S. and Kharb R.P.S. Improvement of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield under Field Conditions by Inoculation of Microbial Strains // Microbiology Journal. – 2012. – № 2. – Pp. 86–95.

FIELD ASSESSMENT OF THE RESULT OF BIOLOGICAL TREATMENT OF SEEDS OF SPRING SOFT WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

A.A. MARTYNOV, N.A. BOME, V.A. YURKOVA, D.A. BAZYUK

(University of Tyumen)

The effect of pre-sowing biological treatment of seeds of two varieties (Tyumenskaya 25 and Shortandinskaya 95 improved) of spring soft wheat on field germination of seeds, biological stability and plant survival during the growing season in relation to the productivity was studied. The study was conducted in field conditions (an experimental plot of the biostation “Lake Kuchak” of University of Tyumen) on sod-podzolic soil, sandy loam in granulometric composition. Weather conditions for the years of the study were characterized as dry in 2020 (HTC=0.86), very dry in 2021 (HTC =0.39) and slightly dry in 2022 (HTC =1.0). Biopreparations increased the field germination of seeds (up to 16.1%, variety Tyumenskaya 25) and biological resistance of plants (up to 14.1%, variety Shortandinskaya 95 improved). The greatest effect was obtained in the variant with a Consortium of Bacillus simplex 948 P-1 TS and Bacillus megaterium 312 TS strains. Seed inoculation increased plant survival during the growing season; variety Shortandinskaya 95 improved was characterized by greater responsiveness to the action of biopreparations. This variety obtained the maximum grain yield in the variants with Cytohumate (2.27 t/ha) and Consortium of strains (2.14 t/ha) (28.9% and 21.5% higher than the control, respectively) on average over the three years. After seed biological treatment the prevalence of powdery mildew and brown rust on a natural background decreased. In experimental plots with AFG, Albite (Tyumenskaya 25), AFG, Bisolbisan, Bisolbiphite and Consortium of strains (Shortandinskaya 95 improved), in contrast to the control, there were no signs of plant infestation by powdery mildew. The article was prepared within the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FEWZ-2021–0007 “Adaptive capacity of agricultural plants in the extreme conditions of the Northern Trans-Urals”.

Key words: biopreparations, seed treatment, biological effect, field germination, phytopathogens, productivity, resistance.

References

1. Bome N.A., Korolev. K.P., Tetyannikov N.V., Bome A.Ya. Sovremennye tekhnologii izucheniya i sokhraneniya geneticheskikh resursov, chast II. Polevye metody issledovaniya kulturnykh rasteniy [Modern technologies for the study and conservation of genetic resources, part II. Field methods of research of cultivated plants]. Tyumen: FGBAOU “Tyumenskiy gosudarstvenniy universitet”, 2018: 35. (In Rus.)
2. Bondareva T.N., Daguzhieva Z.Sh. Vliyanie regulyatorov rosta rasteniy i biopreparatov na produktivnost' ozimoy pshenitsy v usloviyakh Respubliki Adygeya [Effect of plant

- growth regulators and biopreparations on the productivity of winter wheat in the conditions of the Republic of Adygea]. *Novye tekhnologii*. 2017; 4: 81–86. (In Rus.)
3. *Vlasenko N.G., Burlakova S.V., Egorycheva M.T.* Effektivnost' obrabotki semyan yarovoy pshenitsy Trikhoderminom i Sporobakterinom [Efficiency of spring wheat seed treatment with Trichodermin and Sporobacterin]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2022; 52(5): 5–14. (In Rus.)
 4. *Golochaev V.I., Kirilovskaya E.V.* Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kultur [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Moscow, 1989: 194. (In Rus.)
 5. GOST-12042–80–2011 Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya massy 1000 semyan [Seeds of agricultural crops. Methods for determining the mass of 1000 seeds]. Moscow: Standartinform, 2011: 116–118. (In Rus.)
 6. *Guzhov Yu.L., Fuks A., Valichek P.* Seleksiya i semenovodstvo kulturnykh rasteniy [Breeding and seed production of cultivated plants]. Moscow: Mir, 2003: 539. (In Rus.)
 7. *Domanskaya O.V., Kolokolova N.N., Frank Ya.V.* Izuchenie antifungalnoy aktivnosti bakteriy roda *Bacillus* iz merzlykh otlozheniy Zapadnoy Sibiri [Study of antifungal activity of bacteria of the genus *Bacillus* from frozen sediments of Western Siberia]. *Vestnik zashchity rasteniy*. 2016; 3(89): 67–68. (In Rus.)
 8. *Domanskaya O.V., Mel'nikov V.P., Ogurtsova L.V., Soromotin A.V., Domanskiy V.O., Polyakova N.V.* Nekotorye osobennosti fermentativnoy aktivnosti razlichnykh shtammov roda *Bacillus*, vydelennykh iz merzlykh otlozheniy [Some features of the enzymatic activity of various strains of the genus *Bacillus* isolated from frozen sediments]. *Kriosfera zemli*. 2017; XXI; 5: 63–71. (In Rus.)
 9. *Dospekhov B.A.* Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985; 351. (In Rus.)
 10. *Izhik N.K.* Polevaya vskhozhest' semyan [Field germination of seeds]. Kiev: Urozhay, 1976; 200. (In Rus.)
 11. *Kekalo A.Yu.* Ekologizirovanniy sposob zashchity semyan pshenitsy ot fitopatogenov [An ecologized way to protect wheat seeds from phytopathogens]. *Agrarnaya nauka*. 2021; 354 (11–12): 129–133. (In Rus.)
 12. *Lakin G.F.* Biometriya: ucheb. posobie dlya biol. spets. vuzov [Biometrics: textbook for biological universities]. Moscow: Vysshaya shkola, 1980: 295. (In Rus.)
 13. *Nugmanova T.A.* Ispol'zovanie biopreparatov dlya rastenievodstva [The use of biological products for crop production]. *Biologiya rasteniy i sadovodstvo: teoriya, innovatsii*. 2017; 144 (1): 211–214. (In Rus.)
 14. *Selyaninov G.T.* K metodike sel'skokhozyaystvennoy klimatografii [To the methodology of agricultural climatology]. *Trudy po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii*. 1930; 2; 22: 45–91. (In Rus.)
 15. *Almansouri M., Kinet J. – M., Lutts S.* Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil*. 2001; 2: 243–254.
 16. *Ansari O., Sharif-Zadeh F.* Osmo and hydro priming improvement germination characteristics and enzyme activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 2012; 8 (4): 101–108.
 17. *Basu A., Prasad P., Das S., Kalam S., Sayyed R., Reddy M., Enshasy H.El.* Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: Recent Developments, Constraints, and Prospects. *Sustainability*. 2021; 13: 1–20.
 18. *Domanskaya O.V., Bome N.A., Iashnikov A.V., Vasilchenko A.V., Vasilchenko A.S.* The Multiple Activities and the Plant Beneficial Potential of *Bacillus* spp. Derived from the Permafrost of Western Siberia. *Agronomy*. 2021; 11: 2347.

19. *Murungu F.S., Nyamugafata P., Chiduzo C., Clark L.J., Whalley W.R.* Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Soil Till.* 2003; 74: 161–168.

20. *Patade V.Y., Kumari M., Ahmed Z.* Seed Priming Mediated Germination Improvement and Tolerance to Subsequent Exposure to Cold and Salt Stress in *Capsicum*. *Research Journal of Seed Science.* 2011; 4 (3): 125–136.

21. *Prank M., Kenaley S.C., Bergstrom G., Acevedo M., Mahowald N.M.* Climate change impacts the spread potential of wheat stem rust, a significant crop disease. *Environ. Res. Lett.* 2019; 14: 1–9.

22. *Razina A., Dyatlova O.* Biological protection of spring wheat from root rot in the forest-steppe zone of Eastern Siberia. *BIO Web Conf.* 21. 2020; 00034. DOI: 10.1051/bioconf/20202100034

23. *Rouhi H.R., Surki A.A., Sharifzadeh F., Afshari R.T.* Study of Different Priming Treatments on Germination Traits of Soybean Seed Lots. *Notulae Scientia Biologicae.* 2011; 3(1): 101–108.

24. *Sangwan V.P., Dahiya O.S., Kharb R.P.S.* Improvement of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield under Field Conditions by Inoculation of Microbial Strains. *Microbiology Journal.* 2012; 2: 86–95.

Мартынов Алексей Александрович, аспирант, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»; 625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Володарского, 6; тел.: (932)323–71–59; e-mail: m76549@gmail.com

Боме Нина Анатольевна, д-р с.-х. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»; 625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Володарского, 6; тел.: (912)923–61–77; e-mail: n.a.bome@utmn.ru

Юркова Виктория Андреевна, аспирант, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»; 625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Володарского, 6; тел.: (982)926–32–57; e-mail: v.a.yurkova@utmn.ru

Базюк Денис Александрович, аспирант, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»; 625003, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Володарского, 6; тел.: (982)945–72–00; e-mail: bazjukdenis97@yandex.ru

Aleksey A. Martynov, post-graduate student, University of Tyumen (6 Volodarskogo Str., Tyumen, 625003, Russian Federation; phone: (932) 323–71–59; E-mail: m76549@gmail.com)

Nina A. Bome, DSc (Ag), Professor, University of Tyumen (6 Volodarskogo Str., Tyumen, 625003, Russian Federation; phone: (912) 923–61–77; E-mail: n.a.bome@utmn.ru)

Viktoriya A. Yurkova, post-graduate student, University of Tyumen (6 Volodarskogo Str., Tyumen, 625003, Russian Federation; phone: (982) 926–32–57; E-mail: v.a.yurkova@utmn.ru)

Denis A. Bazjuk, post-graduate student, University of Tyumen (6 Volodarskogo Str., Tyumen, 625003, Russian Federation; phone: (982) 945–72–00; E-mail: bazjukdenis97@yandex.ru)