

УДК 579.64:632.4

Оценка жизнеспособности и функциональной активности *Bacillus subtilis* Fb22 в баковых смесях с гербицидами широкого спектра действия

Анисимова Л.Г., Киселева С.В.

Научно-исследовательский технологический институт гербицидов и регуляторов роста растений с опытно-экспериментальным производством Академии наук Республики Башкортостан

Аннотация

С целью разработки мер защиты яровой мягкой пшеницы от грибных болезней проведена оценка возможности применения штамма *Bacillus subtilis* Fb22, проявляющего антагонистические свойства против фитопатогенных грибов и стимулирующего энергию прорастания, всхожесть и рост злаковых культур, в баковых смесях с гербицидами широкого спектра действия Фултайм, МД и Парадокс, ВРК (АО Фирма «Август», Россия). Показано, что концентрации гербицидов (Парадокс, ВРК – 4 мл/л рабочего раствора, Фултайм, МД – 6.4 мл/л рабочего раствора) в проведенном в лабораторных условиях опыте не угнетают жизнедеятельность бактерий при экспозиции 4 суток, при этом численность микроорганизмов в баковой смеси сохраняется на уровне 10^4 клеток/мл раствора. Установлена фунгицидная активность штамма *B. subtilis* Fb22 в отношении ряда фитопатогенных грибов (*Alternaria alternata*, *Fusarium roae*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *Cochliobolus sativus*, *Botrytis byssoidea*). Выявлено, что, при совместной инкубации штамма *B. subtilis* Fb22 с гербицидами, биопрепарат сохраняет свои фунгицидные свойства в отношении ряда фитопатогенных грибов в течение 4 суток. Показана принципиальная возможность совместного применения бактериальных препаратов на основе штаммов *B. subtilis* в баковых смесях с гербицидами широкого спектра действия.

Ключевые слова: BACILLUS SUBTILIS, ГЕРБИЦИД, БИОФУНГИЦИД, БИОУДОБРЕНИЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРЕПАРАТ, ПШЕНИЦА

Введение

Повышение продуктивности сельскохозяйственных растений – одна из важнейших задач современных исследований. В этом процессе особую роль играет интегрированная защита растений от болезней, сорняков и вредителей, которая является важнейшим элементом технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Особое внимание при выращивании сельскохозяйственных растений уделяется борьбе с многочисленными грибными заболеваниями, которые не только приводят к значительным потерям урожайности, но и опасны для человека и животных в связи с их способностью развивать различные заболевания (например, грибы *Fusarium spp.*, продуцирующие микотоксины [1–3]).

Современное растениеводство предполагает широкое использование пестицидов, что важно не только для повышения продуктивности растений, но и для получения высококачественного урожая. При этом с точки зрения экономической эффективности одновременное использование гербицидов и фунгицидов является более выгодным для сельскохозяйственных предприятий, чем обработка семян и посевов по вегетации поэтапно и способно снижать гектарную норму расхода каждого компонента на 10-15%, также при этом сокращается кратность обработок [1, 4].

Как правило, химические фунгициды, особенно препараты с широким спектром действия характеризуются длительным периодом сохранения в почве. Такие соединения могут в сильной степени подавлять развитие микроскопических грибов, бактерий, актиномицетов ризосферы, что, в конечном счете, снижает всхожесть и продуктивность возделываемых культур [5–8].

Кроме того, фунгициды оказывают фитотоксичное влияние на возделываемые культуры. Так, фунгициды могут вызывать снижение транспирации растений [1, 9], ингибировать дыхание [10] и синтез гиббереллинов [11], увеличивать содержание эндогенной абсцизовой кислоты – гормона стресса [12], приводить к появлению кросс-устойчивых штаммов грибных фитопатогенов [1].

Современная стратегия защиты растений предусматривает применение экологически безопасных методов контроля вредных организмов, выгодным является предпосевное протравливание семян [13].

В связи с этим в последнее время все чаще находят применение экологически чистые, относительно дешевые биологические средства защиты растений на основе

штаммов PGPR-микроорганизмов (от Plant Growing-Promoting Rhizobacteria – ризосферные бактерии, способствующие росту растений) [2, 14–18]. Их преимущество по сравнению с химическими средствами защиты растений заключается в отсутствии отрицательного влияния на окружающую среду и получении продукции без остаточных количеств пестицидов и исключении появления резистентных к биопрепаратам форм патогенных организмов [19].

Однако вопрос сочетаемости и совместного применения микробиологических препаратов с гербицидами остается актуальным и малоизученным [13, 20]. Публикации, посвященные совместному применению гербицидов и устойчивых к ним ростостимулирующих бактерий единичны [21, 22] и в них не рассматриваются сочетания многокомпонентных препаративных форм гербицидов с бактериями. Кроме того, активному внедрению микробных препаратов мешает отсутствие у агропроизводителей информации о том, как наиболее просто и дешево совмещать их с устоявшимися сельскохозяйственными приемами. Информация о возможности составления баковых смесей из различных пестицидов часто содержится в регламентах применения химических препаратов, однако аналогичные сведения практически отсутствуют в отношении микробиологических препаратов [20].

Несмотря на то, что действующие вещества большинства фунгицидов (в чистом виде) в основном оказывают токсичное воздействие по отношению к полезной почвенной микрофлоре [8, 23], имеются данные по устойчивости и выживаемости ряда штаммов бактерий к фунгицидам [13, 24, 25].

Целью исследования являлась оценка жизнеспособности и функциональной активности штамма *B. subtilis* Fb22 в баковых смесях с гербицидами широкого спектра действия при взаимодействии с фитопатогенными грибами.

Материалы и методы

Объектом исследования являлся штамм *B. subtilis* Fb22, проявляющий стабильные антагонистические свойства против фитопатогенных грибов, стимулирующий всхожесть и прорастание злаковых культур. Культура штамма идентифицирована по результатам сравнительного анализа последовательности гена 16S рРНК при помощи специализированной компьютерной программы BLAST (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast>) [26, 27], предназначенной для определения родства микроорганизмов и построения

филогенетических деревьев, и депонирована во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов ФГУП ГосНИИгенетика.

В качестве гербицидов широкого спектра использовали Парадокс, ВРК (АО Фирма «Август», Россия; действующее вещество – имазамокс, 120 г/л;) и Фултайм, МД (АО Фирма «Август», Россия; действующие вещества – мезотрион, 75 г/л г/л, никосульфурон, 37.5 г/л, пиклорам 17.5 г/л).

Парадокс, ВРК является послевсходовым гербицидом против однолетних злаковых и двудольных сорняков на посевах сои, гороха, а также сортах и гибридах рапса и подсолнечника, устойчивых к имидазолинонам. Его действующее вещество – имазамокс относится к классу имидазолинонов, поглощается наземной частью и корневой системой сорняков, ингибирует синтез нескольких аминокислот [28]. Фултайм, МД используется против комплекса однолетних и многолетних двудольных и злаковых сорняков при однократном применении. Его действующие вещества – мезотрион [29] (проникает в растения через листья и корни, передвигается акропетально и базипетально, приводит к обесцвечиванию листьев, а затем – к гибели сорняков); пиклорам (системное действующее вещество, легко поглощается корнями и листьями, вызывает деформацию стеблей, листьев и придаточных корней [30]); никосульфурон (обладает системным действием, быстро проникает в растения сорняков и останавливает их рост и развитие [31]).

Концентрации химических и биологических препаратов в опыте соответствовали концентрациям их рабочих растворов для применения на посевах согласно рекомендации производителя по применению для сельского хозяйства на 1 га. Опыт проводили в плоскодонных колбах на 1 л. Для приготовления рабочих растворов гербицидов использовалась водопроводная вода. Для приготовления рабочих растворов гербицидов Парадокс, ВРК растворяли 4.0 мл в 1 л; Фултайм, МД – 6.4 мл в 1 л.

Биомассу штамма *B. subtilis* Fb22 получали методом глубинного культивирования на биореакторе ФС 250 в условиях аэрации (3.5 л/мин), термостатирования (30°C) и поддержания оптимального для каждой стадии процесса уровня pH 6.0–7.2 путем титрования аммиаком, согласно технологической карте данного штамма.

Биологический препарат (титр суспензии 3×10^9 КОЕ/мл) вносили в количестве 0.5 мл/л. Инкубацию бактерий проводили на термостатированном шейкере в течение 10

суток при 100 об/мин и 26 °С. В качестве контроля использовались варианты разведенных препаратов в воде и в жидкой питательной среде LB.

Схема опыта включала следующие варианты: 1) вода + *B. subtilis* Fb22; 2) вода + Фултайм, МД + *B. subtilis* Fb22; 3) вода + Парадокс, ВКР + *B. subtilis* Fb22; 4) питательная среда LB + *Bacillus subtilis* Fb22; 5) питательная среда LB + Фултайм, МД + *B. subtilis* Fb22; 6) питательная среда LB + Парадокс, ВКР + *B. subtilis* Fb22.

Количественный учет числа жизнеспособных клеток проводили методом высева аликвот 10-кратных последовательных разведений на агаризованную среду LB [32]. Учет жизнеспособных клеток компонента биопрепарата проводили на 0-е и 4-е сутки инкубации.

Определение оптической плотности суспензии проводили на спектрофотометре ПЭ-5400В (ООО «ПромЭкоЛаб», Россия) при длине волны 560 нм с разведениями в 2 раза на 0-е и 4-е сутки в трех повторностях, за результат принимали среднее значение.

Для оценки сохранности ростостимулирующих свойств *B. subtilis* Fb22 в смеси гербицид/биопрепарат на растения было проведено биотестирование на проростках яровой мягкой пшеницы сорта Башкирская 28 (масса зерен 34-37 г).

Семена обрабатывали 40% раствором коммерческого препарата «Белизна», промывали проточной водой в течение 10 минут, подсушивали и обрабатывали смесью биопрепарата/гербицида из расчета 10 мкл на 1 г семян в течение 3 мин. На один опытный вариант закладывали по 10 г семян пшеницы в трехкратной повторности. После обработки семена пшеницы выкладывали в стерильные чашки Петри на двойной слой фильтровальной бумаги, предварительно увлажненной 5 мл стерильной дистиллированной воды. Чашки Петри помещали в термостат и выдерживали в течение 7 суток при 28°С. На 7-е сутки оценивали всхожесть семян (согласно [33]), на 10-е сутки оценивали параметры роста. Длину побегов и сумму длин корней (суммировали длины корней одного проростка) рассчитывали как среднее из трех выборок по 50 проростков, массу 100 проростков рассчитывали как среднее из трех выборок по 100 проростков.

Для проверки сохранения антагонизма биопрепарата в отношении фитопатогенных грибов использовали метод агаровых блоков. Необходимые концентрации смеси биопрепарата/гербицида в среде достигались путем добавления в автоклавированную питательную среду при 50°С смеси, разведенной в стерильной дистиллированной воде с соответствующим содержанием действующих веществ из расчета 20 мл раствора на 80 мл

среды. В качестве тест-организмов использовали следующие грибные фитопатогены: *Alternaria alternate*, *Fusarium poae*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *Cochliobolus sativus*, *Botrytis bysoidea* из коллекции Уфимского Института биологии УФИЦ РАН.

Статистический анализ результатов проведён с использованием статистических программ Microsoft Excel 10. В таблицах представлены средние арифметические значения и ошибки средних.

Результаты исследований

В начальной точке опыта титр бактерий составил 3.2×10^5 КОЕ/мл. На 4-е сутки в водном растворе максимальная численность бактерий достигла 7.4×10^6 КОЕ/мл (табл. 1). Небольшое увеличение численности бактериальных клеток может быть связано с тем, что в опыте использовалась биомасса в экспоненциальной стадии роста.

Добавление в водный раствор биопрепарата каждого из гербицидов способствовало увеличению числа клеток на три порядка по сравнению с исходным титром, которое сохранялось на уровне 6.1×10^8 КОЕ/мл в случае смеси с гербицидом Фултайм, МД и 8.2×10^7 КОЕ/мл – в случае смеси с гербицидом Парадокс, ВКР (табл. 1).

Таблица 1. Титр бактерий в препаратах в период инкубации, КОЕ/мл

Вариант опыта	Время инкубации, сутки	
	0-е	4-е
Вода + БМ*	$3.2 \pm 0.1 \times 10^5$	$7.4 \pm 0.3 \times 10^6$
Вода+ Фултайм, МД +БМ		$6.1 \pm 0.2 \times 10^8$
Вода+ Парадокс, ВКР+БМ		$8.2 \pm 0.4 \times 10^7$
Среда** + БМ		$2.4 \pm 0.1 \times 10^{11}$
Среда+ Фултайм, МД+БМ		$6.5 \pm 0.3 \times 10^9$
Среда+ Парадокс, ВКР+БМ		$2.2 \pm 0.1 \times 10^9$

Примечание: *БМ – биомасса штамма *B. subtilis* Fb22; **среда – питательная среда LB.

Выращивание бактерий в течение 4 суток на питательной среде привело к значительному росту численности бактерий до 2×10^{11} КОЕ/мл. В присутствии гербицидов Фултайм, МД и Парадокс, ВКР в составе препаратов на основе питательной среды бактериальный рост на 4-е сутки был на два порядка ниже относительно значения на питательной среде без гербицидов, достигая значений 6.5×10^9 и 2.2×10^9 КОЕ/мл, соответственно (табл. 1). Это может свидетельствовать о том, что вещества, входящие в состав гербицидов, могли оказывать угнетающее действие на рост бактерий. Тем не менее, численность микроорганизмов увеличивалась по сравнению с начальной точкой

опыта, возможно, за счет того, что органические соединения, входящие в состав гербицидов, могли использоваться бактериями в качестве источников углерода и азота.

Для оценки сохранности ростостимулирующих свойств *B. subtilis* Fb22 было проведено биотестирование на 7- и 10-дневных проростках яровой мягкой пшеницы сорта Башкирская 28.

Показано, что, согласно полученным данным, обработка рабочим раствором биопрепарата семян в водном растворе и в сочетании с питательной средой незначительно увеличивали длину корней и побегов растения в сравнении с контролем (вода) (табл. 2).

Обработка семян пшеницы различными вариантами испытываемых растворов показала, что рабочие растворы гербицидов сильнее подавляют прорастание семян пшеницы, чем растворы с добавлением биопрепарата (табл. 2). Например, при обработке семян гербицидом Парадокс, ВКР всхожесть составляла 36.4%, что на 22–35% меньше, чем в варианте с гербицидом и биопрепаратом. Также использование чистого рабочего раствора гербицида оказывало сильное угнетающее действие гербицидов на рост растений пшеницы в сравнении с контролем (вода) и вариантами вода/питательная среда + биопрепарат. Так, сумма длин корней уменьшалась практически в 140 раз, длина побегов – в 6 раз (табл. 2). Сочетание гербицидов с растворами биопрепарата в воде/питательной среде позволило снизить угнетающее действие гербицидов на растения: увеличивалась до 33% длина побегов, до 39.5% сумма длин корней. При совместном использовании гербицида и биопрепарата также увеличивались показатели всхожести – до 50 %. Схожие результаты получены и в отношении многокомпонентного гербицида Фултайм, ВКР.

Таблица 2. Параметры роста проростков пшеницы

Вариант опыта	Всхожесть, %	Сумма длин корней, мм	Длина побегов, мм
Вода (контроль)	72.4±3.6	149.5±16.8	18.4±4.0
Среда**	74.3±4.1	152.6±9.8	16.3±1,2
Фултайм , ВКР	48.5±2.4	21.9±5.8	7.2±1.9
Парадокс, МД	36.4±1.8	17.7±4.9	5.8±1.3
Вода + БМ*	77.4±3.9	156.3±20.6	19.0±4.8
Вода+ Фултайм, ВКР +БМ	39.4±1.9	18.0±5.5	5.6±1.5
Вода+ Парадокс, МД+БМ	70.9±5.5	29.2±5.3	8.8±1.3
Среда + БМ	86.7±4.3	163.3±15.5	20.2±4.1
Среда+ Фултайм, ВКР+БМ	46.7±2.3	25.1±5.7	7.6±1.6
Среда+ Парадокс, МД+БМ	58.8±2.9	29.3±6.5	8.6±1.6

Примечание: *БМ – биомасса штамма *B. subtilis* Fb22; **среда – питательная среда LB.

Известно, что бактерии, относящиеся к PGPR обнаружены во многих родах, включая род *Bacillus* [10]. Положительная роль таких микроорганизмов проявляется в трансформации органических остатков, синтезе гумуса, улучшении минерального питания растений азотом, фосфором и другими элементами, биоконтроле над фитопатогенами и вредителями, детоксикации антропогенных загрязнений [10]. Эти микроорганизмы также могут повышать всхожесть семян, ускорять рост растений, стимулировать образование корней, в том числе и в стрессовых условиях. Установлено, что ростостимулирующая активность большинства штаммов микроорганизмов связана с продуцированием фитогормонов [15, 34–36]. Все это в полной мере относится и к бактериям из рода *Bacillus* [34–36]. Этим и можно объяснить увеличение ростовых показателей проростков в вариантах опыта с совместным применением гербицида и биопрепарата, по сравнению с вариантом обработки только гербицидом.

Оценка сохранности фунгицидных свойств штамма *B. subtilis* Fb22 при совместной экспозиции с гербицидами показала, что даже через 4 суток биопрепарат сохраняет свои фунгицидные свойства по отношению к ряду фитопатогенных грибов (табл. 3).

Исследование сохранения антагонистической активности штамма *B. subtilis* Fb22 в результате инкубации с гербицидами Фултайм, ВКР и Парадокс, МД в водных растворах по отношению к ряду выбранных фитопатогенов показало их способность к проявлению фунгицидных свойств по отношению к 6 видам микромицетов (табл. 3). При этом в зоне бактериальных метаболитов наблюдалось отсутствие мицелия грибов.

Таблица 3. Фунгицидная активность штамма *B. subtilis* Fb22 по отношению к фитопатогенным грибам на 4-е сутки экспозиции в баковой смеси с гербицидами

Вид фитопатогенного гриба	Диаметр зоны отсутствия роста гриба вокруг колонии штамма без гербицида, мм	Диаметр зоны отсутствия роста гриба для варианта опыта Вода+ Фултайм +БМ, мм	Диаметр зоны отсутствия роста гриба для варианта опыта Вода+ Парадокс +БМ, мм
<i>Alternaria alternata</i>	26.3±2.1	19.5±1.2	23.6±2.4
<i>Fusarium poae</i>	22.4±2.1	16.2±3.1	18.3±1.2
<i>Fusarium graminearum</i>	21.1±2.4	15.4±1.4	18.7±3.2
<i>Fusarium oxysporum</i>	24.3±3.2	19.2±2.2	21.2±2.3
<i>Cochliobolus sativus</i>	18.5±3.1	12.3±2.1	15.4±2.1
<i>Botrytis byssoidea</i>	19.4±2.2	14.5±2.1	17.3±1.4

Таким образом, в результате проведенных исследований были доказаны совместимость и сохранение фунгицидных свойств штамма *B. subtilis* Fb22 в баковых смесях с гербицидами широкого спектра действия Фултайм, ВКР и Парадокс, МД. Показано, что используемая концентрация гербицидов в модельном опыте в баковой смеси не угнетает жизнедеятельность компонента бактериального препарата. Полученные данные согласуются с данными ряда исследователей в отечественной и зарубежной литературе по влиянию гербицидов на микроорганизмы. Например, в работе [20], показано, что в лабораторных условиях бактерии рода *Pseudomonas* sp. проявляют антагонизм по отношению к некоторым видам фитопатогенных грибов, проявляя при этом устойчивость к гербицидам на основе синтетических ауксинов, флорасулама и производных сульфанилмочевины. В работе [37] показана возможность совместного применения в баковых смесях ризобияльных культур с гербицидами, однако выживаемость микроорганизмов зависела от концентрации гербицидов, температуры и времени выдерживания смеси. Было выявлено, что устойчивость ризобияльных культур к гербицидам зависит также и от вида микроорганизмов [25].

Выводы

Опираясь на полученные данные можно заключить, что при совместном использовании в баковых смесях нахождение *B. subtilis* Fb22 в одном растворе с гербицидами не сказывалось на выживаемости бактерий, а также их фунгицидной активности в течение 4 суток. При этом Парадокс, МД был менее токсичен для микроорганизмов, чем Фултайм, ВКР. Изученные гербициды при одновременной экспозиции в одном растворе с биопрепаратом сохраняют свои функциональные свойства и подавляют прорастание однодольных растений на примере пшеницы. Так как гербициды имеют избирательное действие на однолетние и многолетние злаковые и двудольные сорняки, то семена пшеницы косвенно подвергались гербицидному действию.

Полученные результаты дают основание заключить перспективность для дальнейшего исследования биопрепарата на основе *B. subtilis* Fb22 в качестве биофунгицида, биоудобрения или регулятора роста зерновых культур, в том числе, в составе баковых смесей со средствами химической защиты растений.

Список использованных источников:

1. Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений. – М.: Арт-Лио, 2003. – 208 с.
2. Попкова К.В. Общая фитопатология: учебник. – Москва: Дрофа, 2005. – 399 с.
3. Fletcher R.A. Triazoles as plant growth regulators and stress pro-TECTANTS / R.A. Fletcher, A. Gilley, N. Sankhla, T.D. Davis // Horticultural Reviews. – 2000. – V. 24. – P. 55–138.
4. Ганиев М.М., Недорезков В.Д. Химические средства защиты растений. – М.: Колос, 2006. – 248 с.
5. Побежимова Т.П., Корсукова А.В., Дорофеев Н.В., Грабельных О.И. Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9. – № 3. – С. 461–476.
6. Симонов В.Ю. Агроэкологическая оценка фунгицидов и фитосанитарного состояния зерновых агробиоценозов в условиях Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. – 2012. – № 3. – С. 17–29.
7. Степанова С.А., Симонова Г.В. Оценка изменения концентрации гербицидов в почве // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 56–61.
8. Yousaf S., Khan S., Aslam M.T. Effect of pesticides on the soil microbial activity // Pakistan J. Zool. – 2013. Vol. 45. – N 4. – P. 1063–1067.
9. Лукаткин А.С., Семенова А.С., Лукаткин А.А. Влияние регуляторов роста на проявления токсического действия гербицидов на растения // Агрехимия. – 2016. – № 1. – С. 73–95.
10. Пономаренко С.П., Итинская Г.А. Биорегуляция микробно-растительных систем. – Киев: Ничлава, 2010. – 464 с.
11. Fletcher R.A., Gilley A., Sankhla N., Davis T.D. Triazoles as plant growth regulators and stress pro-TECTANTS // Horticultural Reviews. – 2000. Vol. 24. – P. 55–138.
12. Чинова С.И., Павлова В.В., Прусакова Л.Д. Содержание абсцизовой кислоты и рост растений ярового ячменя под действием триазолов // Физиология растений. – 2005. – Т. 52. – № 1. – С. 108–114.
13. Саенко Г.М., Бушнева Н.А. Совместимость фунгицидных протравителей сои с инокулянтами // Научно-технический бюллетень ВНИИМК. – 2018. – Вып. 3 (175). – С.124–127.
14. Ланкина Е.П. Перспективы использования смешанных культур психрофильных и психротолерантных бактерий в биологической защите растений от болезней / Е.П. Ланкина, С.В. Хижняк, С.П. Кулижский // Вестник КрасГАУ. – 2013 – №4 – С. 101–106.
15. Рафикова Г.Ф., Коршунова Т.Ю., Миннебаев Л.Ф., Четвериков С.П., Логинов О.Н. Новый штамм бактерий *Pseudomonas koreensis* ИБ-4 как перспективный агент

биологического контроля фитопатогенов // Микробиология. – 2016. – Т. 85. – № 3. – С. 317–326.

16. Mbazia A., Omri Ben Youssef N., Kharrat M. Tunisian isolates of *Trichoderma spp.* and *Bacillus subtilis* can control *Botrytis fabae* on faba bean // J. Biocontrol Sci. Technol. – 2016. Vol. 26. – N 7. – P. 915–927.

17. Parnell J.J., Berka R., Young H.A., Sturino J.M., Kang Y., Barnhart D.M., Di Leo M.V. From the Lab to the Farm: An Industrial Perspective of Plant Beneficial Microorganisms // Front. Plant Sci. – 2016. Vol. 7:1110.

18. Stamenković S., Beškoski V., Karabegović I., Lazić M., Nikolić N. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives // Span. J. Agr. Res. – 2018. Vol. 16. – N 1: 18.

19. Коршунова Т.Ю., Силищев Н.Н., Галимзянова Н.Ф., Логинов О.Н. Биофунгицид Елена для протравливания семян ячменя ярового и его влияние на урожайность и устойчивость к болезням // Башкирский химический журнал. – 2007. – Т. 14. – №4. – С. 92–94.

20. Четвериков С.П., Четверикова Д.В., Кенджиева А.А., Бакаева М.Д. Новые устойчивые к гербицидам штаммы микроорганизмов для защиты сельскохозяйственных растений // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 4. – С. 35–39.

21. Ahemad M., Khan M.S. Ameliorative effects of *Mesorhizobium sp.* MRC4 on chickpea yield and yield components under different doses of herbicide stress // Pesticide Biochemistry and Physiology. – 2010. Vol. 98. – N 2. – P. 183–190.

22. Chennappa G., Sreenivasa M.Y., Nagaraja H. *Azotobacter salinestrus*: A Novel Pesticide-Degrading and Prominent Biocontrol PGPR Bacteria // Microorganisms for Green Revolution. Microorganisms for Sustainability. V. 7. – Singapore: Springer, 2018. – P. 23–43.

23. Alam S. Isolation and characterization of pesticide tolerant bacteria from brinjal rhizosphere / S. Alam, A. Kumar, A. Kumar, S. Prasad, A. Tiwari, D. Srivastava, S. Srivastava, P. Tiwari, J. Singh, B. Mathur // Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. – 2018. –Vol. 7. – Special Issue. – P. 4849–4859.

24. Лактионов Ю.В., Косульников Ю.В., Дудникова Д.В., Яхно В.В., Кожемяков А.П. Оценка устойчивости штаммов клубеньковых бактерий сои к рекомендуемым химическим фунгицидам // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 1(61). – С. 62–67.

25. Якименко М.В., Бегун С.А., Сорокина А.И. Совместимость коллекционных штаммов ризобий сои с фунгицидами и ростостимулирующими препаратами // Дальневосточный аграрный вестник. – 2016. – Т. 2. – № 38. – С. 38–41.

26. Борщевская Л.Н., Калинина А.Н., Синекоий С.П. Разработка ПЦР - теста для идентификации близкородственных видов группы *Bacillus subtilis* на основании последовательности гена GYRA // Биотехнология. – 2012. – №3. – С. 32–43.

27. Palmisano M.M., Nakamura L.K., Duncan K.E., Istock C.A., Cohan F.M. *Bacillus sonorensis sp. nov.*, a close relative of *Bacillus licheniformis*, isolated from soil in the Sonoran

Desert, Arizona // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2001, Vol. 51. – N 5. – P. 1671–1679.

28. Болтухина Е.В., Чернышев В.П., Шешенев А.Е., Каракотов С.Д. Перспективы применения гербицида Имазамокс // Вестник защиты растений. – 2017. – Т.91. – Вып. 1. – С. 38–42.

29. Carles L., Joly M., Joly P. Mesotrione Herbicide: Efficiency, Effects, and Fate in the Environment after 15 Years of Agricultural Use // CLEAN Soil, Air, Water. – 2017. Vol. 45. – N 9: 1600437.

30. Clark S., Sebastian D., Nissen S., Sebastian J. Effect of indaziflam on native species in natural areas and rangeland / Invasion. Plant Sci. Manag. – 2019. Vol. 12. – N 1. – P. 60–67.

31. Wang J., Zhong X., Li F., Shi Z. Effects of nicosulfuron on growth, oxidative damage, and the ascorbate-glutathione pathway in paired nearly isogenic lines of waxy maize (*Zea mays* L.) // Pesticide Biochem. Physiol. – 2018. Vol. 145. – P. 108–117.

32. ОФС.1.7.2.0008.15 Определение концентрации микробных клеток. XIV издание. – М.: Государственная фармакопея Российской Федерации, 2018. – 13 с.

33. ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 57 с.

34. Ахтямова З.А., Архипова Т.Н., Мартыненко Е.В. Сравнение реакции растений ячменя на обработку микроорганизмами, продуцирующими ауксины и цитокинины [Электрон. ресурс] // Экобиотех. – 2020. – Т. 3. – № 1. – Режим доступа: <http://doi.org/10.31163/2618-964X-2020-3-1-66-73>

35. Akhtyamova Z., Arkhipova T., Martynenko E., Nuzhnaya T., Kuzmina L., Kudoyarova G., Veselov D. Growth-Promoting Effect of Rhizobacterium (*Bacillus subtilis* IB22) in Salt-Stressed Barley Depends on Abscisic Acid Accumulation in the Roots // Int. J. Mol. Sci. – 2021. Vol. 22. – N 19: 10680.

36. Martynenko E., Arkhipova T., Safronova V., Seldimirova O., Galin I., Akhtyamova Z., Veselov D., Ivanov R., Kudoyarova G. Effects of Phytohormone-Producing Rhizobacteria on Casparian Band Formation, Ion Homeostasis and Salt Tolerance of Durum Wheat // Biomolecules. – 2022. Vol. 12. – № 2: 230.

37. Косильников Ю.В., Лактионов Ю.В. О Факторах, влияющих на токсичность протравителей семян для симбиотических азотфиксаторов в составе биопрепаратов // Сельскохозяйственная биология. – 2018. –Т. 53. – № 5. – С. 1037–1044.

Цитирование:

Анисимова Л.Г., Киселева С.В. Оценка жизнеспособности и функциональной активности *Bacillus subtilis* Fb22 в баковых смесях с гербицидами широкого спектра действия [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_507.pdf.