

УДК 581.2

С. Г. Сидорова, кандидат биологических наук,
доцент кафедры ботаники

Белорусский государственный университет, г. Минск

АНТИФУНГАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИЙ В ОТНОШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ МИКОЗОВ ТОМАТА

РЕЗЮМЕ

*Приведена лабораторная оценка антифунгальной активности почвенных бактерий рр. *Bacillus* и *Pseudomonas* по степени ингибирования роста и развития (формирование колоний, интенсивность спороношения) в отношении возбудителей фузариозного увядания и серой гнили томата. Установлен фунгистатический эффект всех изучаемых штаммов *Bacillus subtilis* (8, 8-1, 4k31, 494) на рост и спорообразование патогенов. Выделены штаммы *B. subtilis* (8 и 8-1) и бактерия *Pseudomonas fluorescens*, которые представляют интерес в качестве антагонистов возбудителей как фузариоза, так и ботритиоза. Они могут быть использованы для разработки на их основе препаратов с комплексным действием, относимых к категории экологически безопасных средств защиты растений.*

Ключевые слова: фузариозное увядание, серая гниль, бактерии, ингибирование, спорообразование, рост, штаммы-антагонисты, скрининг.

ВВЕДЕНИЕ

Томат – культура, которая появилась на территории Республики Беларусь в конце 60-х гг. XIX в. Это одна из самых популярных культур, обладающая ценными питательными и диетическими свойствами, большим разнообразием сортов, высокой отзывчивостью на применяемые приемы выращивания [8].

Благоприятному возделыванию томата препятствует его подверженность широкому спектру болезней. Высокий уровень потерь урожая этой культуры определяет значимость ее защиты как одного из факторов оптимизации производства растениеводческой продукции.

В настоящее время во всем мире ведущее место в защите растений занимает химический метод, и наблюдается тенденция применения все возрастающего количества пестицидов. Однако глобальное использование химических средств защиты растений в сельском и лесном хозяйстве приводит к повышению загрязнения окружающей среды и к его отрицательным экологическим и санитарно-гигиеническим последствиям. Это находит отражение в нарушении структуры биоценозов и снижении их способности к саморегуляции, в накоплении пестицидов в почве, воде и продуктах питания, в возрастании в популяциях возбудителей болезней устойчивости к пестицидам, что

снижает эффективность их применения [3, 25]. В этой связи биологический контроль возбудителей болезней растений выступает обещающей альтернативой химическому методу, предотвращая деградацию агроценозов, агроландшафтов и в целом среды обитания человека.

По данным В. Д. Поликсиной [19], за 35 лет наблюдений на томатах было отмечено 22 вида грибов в качестве возбудителей инфекционного процесса; из них в защищенном грунте зарегистрировано 19 видов, в открытом – 11. Знание типов взаимоотношений, возникающих между патогенами в фитопатосистеме, а также микробиотой ризосферы, позволит оптимизировать и селекционную работу по созданию устойчивых сортов и биологических средств защиты растений.

Перспективными антагонистами фитопатогенных грибов считаются флюоресцирующие псевдомонады – род *Pseudomonas* [5, 30]. Очень много ризосферных бактерий из этого рода могут синтезировать и выделять в среду желто-зеленые пигменты (которые называются пиовердинами), выполняющие в клетках функции сидерофоров, которые проявляют одновременно антибактериальную, антифунгальную и антинематодную активность [8, 13, 14, 16, 22]. Супрессивное действие флюоресцирующих псевдомонад связано также с биосинтезом антибиотиков и конкуренцией за источники углерода. В целом флюоресцирующие псевдомонады весьма перспективны в качестве почвенных антагонистов фитопатогенных грибов. Они обладают рядом свойств, которые облегчают их использование: почва является для них естественной средой обитания, они способны усваивать разнообразные органические субстраты, легко приживаются в ризосфере различных растений и быстро увеличивают свою численность [9].

В настоящее время известно много видов бактерий, принадлежащих роду *Bacillus*, подавляющих рост патогенных грибов, в числе которых *B. subtilis*, *B. polymyxa*, *B. cereus*, *B. mesentericus*, *B. mycoides* [12].

Среди различных видов бактерий рода *Bacillus* известными антагонистами патогенов являются бактерии *B. subtilis*. Спектр антибиотической активности бактерий *B. subtilis* формируется за счет синтеза экзоферментов и антибиотиков. В основе их антагонистической активности в отношении фитопатогенных грибов лежит синтез клетками разнообразных антибиотиков пептидной природы: бацилломицин, итурины, микобациллин, микосубтилин, ризоктицины, фенгимицин, субспорин [29]. Пептидные антибиотики, синтезируемые *B. subtilis*, ингибируют синтез дезоксирибонуклеиновой кислоты, образование клеточной стенки, функционирование мембран. Эти свойства раскрывают большие возможности для исследований в плане создания на основе бактерий данного вида эффективных биопрепаратов [1, 9, 10, 21].

Некоторые штаммы *B. subtilis* уже используются для защиты растений от болезней, в том числе и в период хранения продукции. Так, штамм *B. subtilis* ВНИИСХМ № 131 применяется для получения препарата Фитоспорин, используемого для защиты яблок и винограда от гнилей при хранении. Штамм бактерий *B. subtilis* КМБУ 30043, антагонистически активный в отношении

многих фитопатогенных бактерий и грибов, лег в основу биологического препарата защиты растений Бактоген. Бактерии *B. subtilis* КМБУ 30043 синтезируют антибиотик ароматической природы с аминогликозидным компонентом, ингибирующий развитие фитопатогенов. Бактерии *B. subtilis* КМБУ 30043 являются непатогенными для растений и животных, не фитотоксичны, хорошо размножаются как в почве, так и в филлосфере растений. Бактоген показал высокую антагонистическую активность в отношении ряда фитопатогенных грибов в условиях защищенного грунта [2, 10].

В исследованиях, проведенных на зерновых культурах, было установлено, что штамм бактерии *P. aureofaciens* можно использовать для защиты сельскохозяйственных культур и обогащения почвы полезной микрофлоры [20].

Е. Ю. Ильясовой и соавт. [4] изучено влияние биопрепаратов Фитоспорин-М, Альбит, Витаплан, содержащих в своем составе сами бациллы или их действующие вещества на комплекс ризосферных фитопатогенов, в частности *F. oxysporum*. Установлено снижение численности фитопатогенных грибов и тем самым проявление защитного эффекта на растения сахарной свеклы. Это приводит к получению высококачественной продукции и сохранению плодородия почвы.

В работе А. А. Лукаткина, С. А. Ибрагимовой, В. В. Ревина [7] была показана принципиальная возможность использования биопрепарата на основе бактерии *P. aureofaciens* для защиты сельскохозяйственных растений от поражения грибом *Botrytis cinerea*. Спустя 10 суток глубинного культивирования отмечено полное разрушение грибного мицелия.

Результаты исследований, проведенных в лабораторных условиях, показали антифунгальное влияние ризосферных бактерий на развитие *F. culmorum*, *Alternaria solani*, *A. tenissima*, *A. infectoria*, *A. alternate*. Совместное культивирование исследуемых штаммов бактерий способствует усилению их антагонистических свойств [17]. Данные используются при создании комплексного биопрепарата для защиты растений.

М. А. Клыкова и соавт. [18] изучали 39 штаммов бацилл в отношении 5 фитопатогенных бактерий р. *Ervinia* и *Xantomonas* и 14 грибных родов *Stachybotrys*, *Microdochium*, *Fusarium*, *Alternaria*. Отмечено, что более половины из приведенных бацилл в той или иной степени проявляли антагонистическую активность в отношении отдельных фитопатогенов.

Данные, полученные М. А. Стадниченко и Ю. М. Кулешовой [23], показали, что культивируемые фильтраты *P. putida* обладают фунгицидным эффектом по отношению к прорастанию спор возбудителя серой гнили. Антибиотическая активность бактерии определяется способностью синтезировать и выделять в среду пигмент пиовердин P_m , который связывает ионы железа и превращает их в недоступную для других организмов (бактерий, грибов) форму [2].

В исследованиях, проведенных Л. Р. Сулеймановой, С. П. Четвериковым и О. Н. Логиновым [24], установлено, что метаболиты *P. aureofaciens* (триглицеропептиды, обладающие фунгицидной активностью) обладают антифунгицидной активностью по отношению к фитопатогену *Fusarium oxysporum*.

Результаты, полученные в работе М. Н. Федорович и Е. Г. Веремеенко [26], указывают на то, что изучаемые бактерии проявляют высокую степень антифунгальной активности по отношению к грибам р. *Alternaria*, подавляя прорастание спор различных видов (*A. alternata*, *A. tenissima*, *A. infectoria*, *A. dauci*, *A. radicina*, *A. brassicae*, *A. brassicicola*, *A. capsici*) на 42–100 %.

Таким образом, анализ литературных источников показал, что бактерии рр. *Bacillus* и *Pseudomonas* проявляют антифунгальную активность и могут служить основой для создания биопрепаратов с широким спектром активности. В этой связи поиск штаммов бактерий названных родов, проявляющих антагонистическую активность в отношении комплекса фитопатогенных микромицетов, является актуальным и практически значимым направлением исследований, которое предполагает минимизацию использования химических веществ в качестве агентов защиты растений. В этой связи целью настоящего исследования явилось изучение возможности использования штаммов бактерий рр. *Bacillus* и *Pseudomonas*, обладающих антифунгальной активностью, в качестве антагонистов некоторых несовершенных грибов-возбудителей микозов томата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом исследований служили патогенные для культуры томата микромицеты *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* (Sacc.) Snyder and Hansen и *Botrytis cinerea* Pers: Fr., полученные из коллекций чистых культур кафедры ботаники БГУ, а также чистые культуры бактерий *Bacillus subtilis* (штаммы *B. subtilis* 8, *B. subtilis* 8-1, *B. subtilis* 494, *B. subtilis* 4k31) и *Pseudomonas* (*P. fluorescens*, *P. putida* M), взятые из коллекции микроорганизмов кафедры микробиологии БГУ.

В эксперименте по изучению влияния бактерий на рост и спорообразование тестируемых микромицетов бактерии исследуемых штаммов засеивали кольцом ($r = 20$ мм) на предварительно подсушенную в термостате при температуре 60 °С картофельно-глюкозную агаризованную среду следующего состава: картофельный отвар – 1 л, 1,5 %-й агар – 20 г, глюкоза – 20 г, разлитую в чашки Петри. Инкубирование проводили в термостате при температуре 28 °С в течение 24 ч. Затем в центр сформировавшегося кольца помещали мицелий фитопатогенного микромицета и культивировали при комнатной температуре в течение восьми суток. В контрольных чашках фитопатоген выращивали изолированно от бактерии [11]. Ежедневно измеряли диаметр колоний фитопатогена, описывали морфологию его колоний, отмечали изменение окраски колонии и субстрата.

Показатель ингибирования роста фитопатогена штаммами исследуемых бактерий, определяемый как разница между диаметром колонии в контрольном и опытном вариантах, деленная на диаметр колонии в контроле и умноженные на 100 %, рассчитывали на пятые и десятые сутки, а интенсивность спорообразования микромицета – на десятые сутки [11]. Опыт проводили в 8-кратной повторности для каждой экспериментальной серии и контроля.

Данные представлены в виде «среднее ± ошибка среднего». Статистическая обработка проведена с использованием программы *Statistica 6.0*. Достоверными считали результаты при $P \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных, отражающих развитие фитопатогенных микромицетов *B. cinerea* и *F. oxysporum f. lycopersici* в условиях чистой культуры, позволил установить, что все изучаемые штаммы *B. subtilis*, а также бактерия *P. fluorescens* оказали ингибирующее воздействие на рост микромицета *B. cinerea* (рис. 1). Это нашло отражение в угнетении роста *B. cinerea* на 72 % под влиянием *B. subtilis* 494 и на 74 % – под воздействием *P. fluorescens* (табл. 1). Исключение составила бактерия *P. putida* М, не оказавшая негативного воздействия на ростовую активность тестируемого микромицета (рис. 1б).

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что еще более сильный угнетающий эффект на развитие возбудителя серой гнили томата был отмечен для штаммов *B. subtilis* 8-1 и *B. subtilis* 8: показатель ингибирования на пятые сутки составил 89 и 88 % соответственно.

Анализ величины показателя ингибирования вегетативного роста *B. cinerea* изучаемыми бактериями на десятые сутки культивирования выявил дальнейшее усиление угнетающего воздействия в случае применения штаммов

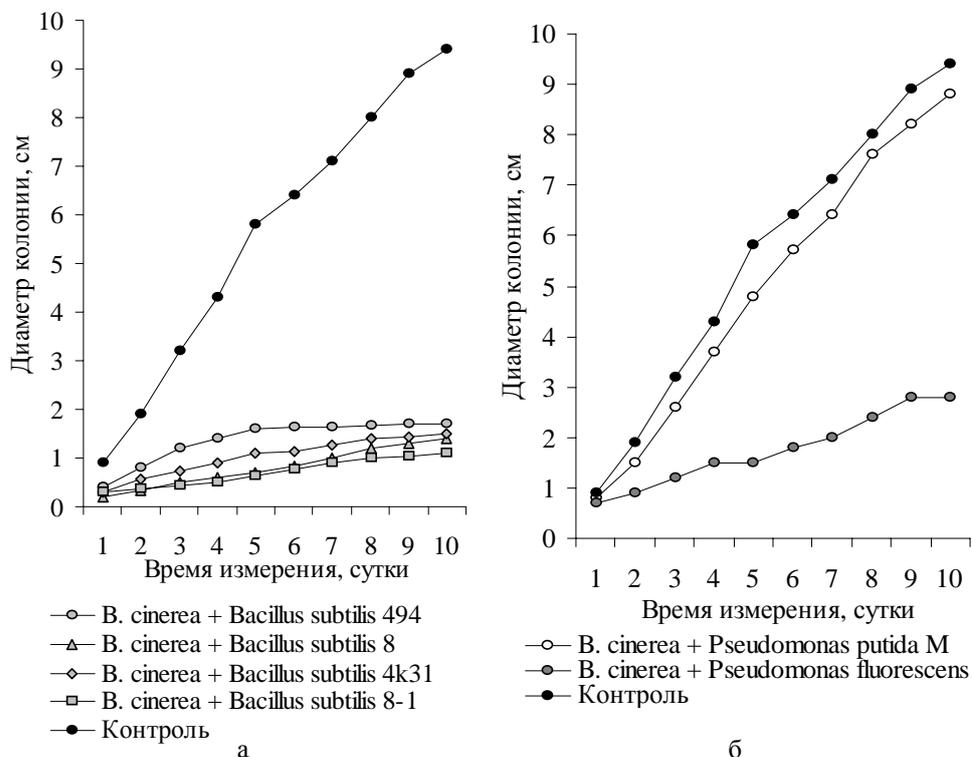


Рисунок 1 – Влияние штаммов *Bacillus subtilis* (а) и бактерий рода *Pseudomonas* (б) на рост фитопатогенного микромицета *Botrytis cinerea*

Таблица 1 – Развитие фитопатогенного микромицета *B. cinerea* в присутствии бактерий рр. *Bacillus* и *Pseudomonas*

Вариант опыта	Показатель ингибирования, %		Интенсивность спороношения, $\times 10^6$ шт/см ²	
	5 сутки	10 сутки	Центр колонии	Край колонии
<i>B. cinerea</i> + <i>B. subtilis</i> 8	87,93	85,11	4,05 \pm 0,18*	–
<i>B. cinerea</i> + <i>B. subtilis</i> 8-1	88,97	88,30	7,45 \pm 0,56*	–
<i>B. cinerea</i> + <i>B. subtilis</i> 494	72,41	81,91	3,75 \pm 0,25*	–
<i>B. cinerea</i> + <i>B. subtilis</i> 4k31	81,03	84,04	0,78 \pm 0,03*	0,23 \pm 0,02*
<i>B. cinerea</i> + <i>P. putida</i> M	12,24	6,38	19,8 \pm 1,10*	7,98 \pm 0,86*
<i>B. cinerea</i> + <i>P. fluorescens</i>	74,48	70,21	1,18 \pm 0,04*	–
Контроль (<i>B. cinerea</i>)	0	0	10,05 \pm 0,72*	4,97 \pm 0,54

* Здесь и в таблице 2 достоверно ($P \leq 0,05$) по сравнению с контролем для одноименного места измерения (центр или край колонии).

B. subtilis 494 и *B. subtilis* 4k31. Их увеличение составило порядка 10 и 3 % соответственно. Воздействие бактерии *P. putida* M снизилось примерно в 2 раза по сравнению с предыдущим периодом наблюдения (см. табл. 1).

Наблюдение за характером роста *B. cinerea* внутри бактериального кольца показало, что фитопатоген растет вверх, формируя колонии диаметром примерно 1–2 см. Затем рост микромицета останавливается. Это, возможно, связано с синтезом антибиотических веществ бактериями, которые поступают в питательную среду и тормозят рост *B. cinerea* [29].

В варианте с бактерией *P. putida* M отмечено, что бактериальное кольцо не препятствует росту фитопатогена. Микромицет распространялся по верху кольца и полностью занимал чашку Петри. Это свидетельствует о том, что *P. putida* M не обладает фунгистатическим эффектом в отношении *B. cinerea*, а способность бактерий р. *Pseudomonas* синтезировать широкий спектр веществ, в том числе витаминов, полисахаридов, свободных аминокислот и т. д. [30], вероятно, можно рассматривать в качестве фактора, стимулирующего вегетативный рост микромицета.

Подсчет интенсивности спороношения возбудителя серой гнили томата показал, что учитываемый показатель снижался от центра колоний к ее краю практически во всех опытных вариантах в сравнении с контролем. Наибольшее статистически достоверное ($P \leq 0,05$) уменьшение этого параметра отмечено в вариантах применения *B. subtilis* 4k31 (в 13 раз) и *P. fluorescens* (в 9 раз). Воздействие штаммов *B. subtilis* 8 и 494 выразилось в статистически достоверном ($P \leq 0,05$) снижении количества спор на единице спороносящей поверхности в 2,5 и 2,7 раза соответственно (см. табл. 1). Указанные различия обнаружены в центральной части колонии *B. cinerea*.

Анализируя данные, отражающие уровень спороносящей активности микромицета *B. cinerea*, можно отметить и обратный эффект воздействия на процесс образования спор. Так, в варианте культивирования *B. cinerea* и бактерии

P. putida М выявлено стимулирование этого процесса, проявившееся в 2-кратном увеличении количества спор на единице спороносящей поверхности (см. табл. 1).

Вместе с тем было установлено отсутствие спор у края колонии *B. cinerea* практически во всех опытных вариантах. Исключение составил штамм *B. subtilis* 4k31, воздействие которого выразилось в снижении количества спор в опыте по сравнению с контролем более чем в 20 раз. Влияние бактерии *P. putida* М проявилось в стимулировании и репродуктивной активности возбудителя серой гнили томата (см. табл. 1).

Анализ данных, отражающих вегетативный рост *F. oxysporum* f. *lycopersici*, позволил выявить угнетающее воздействие тестируемых штаммов бактерий рр. *Bacillus* и *Pseudomonas* на этот процесс. Однако сила влияния в сравнении с *B. cinerea*, особенно в первоначальный период наблюдения, оказалась несколько слабее (рис. 2а). Так, по воздействию на ростовые показатели колоний *F. oxysporum* f. *lycopersici* исследуемые ризосферные бактерии можно разделить на три группы. Наименьшим (42 %) угнетающим эффектом характеризовался штамм *B. subtilis* 4k31. Штаммы *B. subtilis* 8 и 494 ингибировали рост возбудителя фузариоза томата на 63 и 67 % соответственно. Наиболее сильным подавляющим воздействием обладал штамм *B. subtilis* 8-1. В данном варианте опыта степень угнетения составила 87 % (табл. 2).

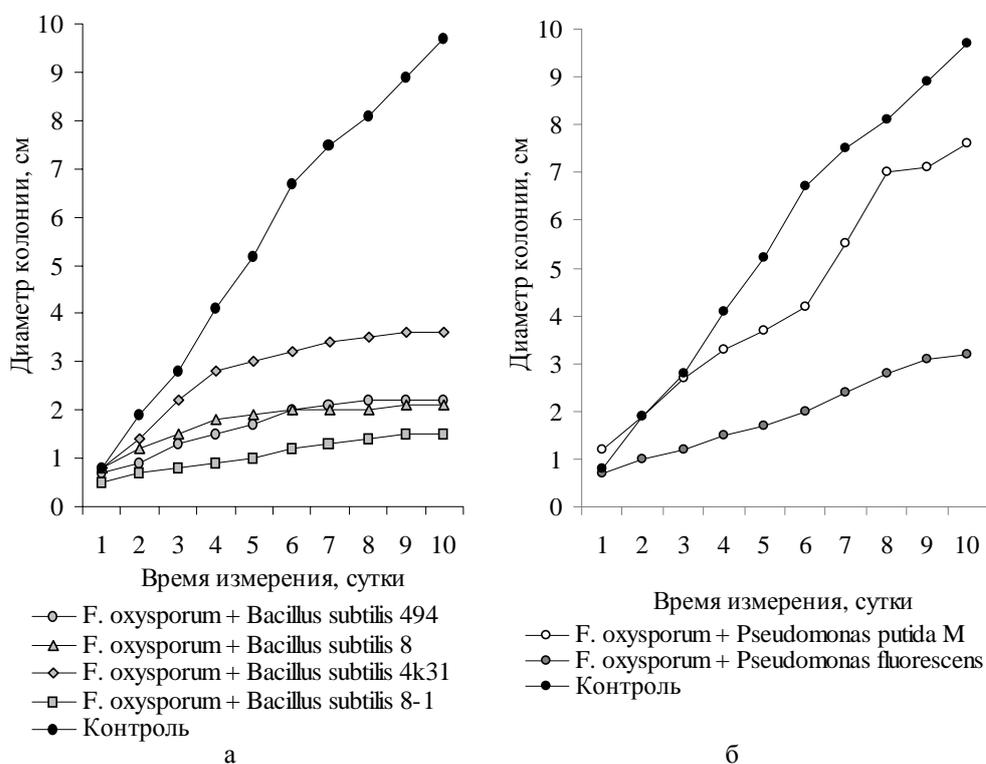


Рисунок 2 – Влияние штаммов *Bacillus subtilis* (а) и бактерий рода *Pseudomonas* (б) на рост фитопатогенного микромицета *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici*

Таблица 2 – Развитие фитопатогенного микромицета *F. oxysporum* f. *lycopersici* в присутствии бактерий pp. *Bacillus* и *Pseudomonas*

Вариант опыта	Показатель ингибирования, %		Интенсивность спороношения, $\times 10^6$ шт/см ²	
	5 сутки	10 сутки	Центр колонии	Край колонии
<i>F. oxysporum</i> f. <i>lycopersici</i> + <i>B. subtilis</i> 8	63,46	78,13	9,5 \pm 0,08*	–
<i>F. oxysporum</i> f. <i>lycopersici</i> + <i>B. subtilis</i> 8-1	86,77	84,38	7,54 \pm 0,12*	6,8 \pm 0,07*
<i>F. oxysporum</i> f. <i>lycopersici</i> + <i>B. subtilis</i> 494	67,30	77,08	8,63 \pm 0,21*	–
<i>F. oxysporum</i> f. <i>lycopersici</i> + <i>B. subtilis</i> 4k31	42,31	62,50	12,35 \pm 0,25*	–
<i>F. oxysporum</i> f. <i>lycopersici</i> + <i>P. putida</i> M	29,81	20,83	21,13 \pm 0,97	9,12 \pm 0,46*
<i>F. oxysporum</i> f. <i>lycopersici</i> + <i>P. fluorescens</i>	67,31	67,01	7,5 \pm 0,07*	–
Контроль (<i>B. cinerea</i>)	0	0	25,63 \pm 1,12	4,2 \pm 0,04

Влияние бактерии *P. fluorescens* на рост фузариума проявилось в 67 %-м снижении диаметра его колонии по прошествии пяти суток культивирования (см. табл. 2). Как и в случае с *B. cinerea*, бактерия *P. putida* M не проявила антагонистическую активность в отношении *F. oxysporum* f. *lycopersici* как на пятые, так и на десятые сутки наблюдения (рис. 2б).

Анализ данных, отражающих ростовую активность возбудителя фузариоза томата по истечении десяти суток культивирования его на искусственной питательной среде, позволил установить усиление ингибирующего воздействия изучаемых ризосферных бактерий. Так, угнетение вегетативного роста фузариума в присутствии штаммов *B. subtilis* 494 и 8 возросло соответственно на 10 и 15 % по сравнению с предыдущим учетом. Штамм *B. subtilis* 4k31 на 20 % усилил свое негативное влияние на рост колонии патогена (см. табл. 2). Это может быть связано с повышением антибиотической активности штаммов *B. subtilis*. Ингибирование же вегетативного роста фузариума в присутствии *P. fluorescens* практически не изменилось в сравнении с предыдущим сроком наблюдения.

Анализ интенсивности спорообразования микромицета *F. oxysporum* f. *lycopersici* выявил аналогичную закономерность в сравнении с возбудителем серой гнили микромицетом *B. cinerea*. Она выразилась в снижении учитываемого показателя от центральной части колонии к ее краю во всех опытных вариантах в сравнении с контрольным (см. табл. 2). При этом менее подвержен угнетающему воздействию оказался процесс спорообразования у возбудителя фузариоза томата в присутствии бактерии *P. putida* M. В этом случае снижение анализируемого параметра составило порядка 18 %. В варианте совместного культивирования *F. oxysporum* f. *lycopersici* и бактерий

B. subtilis (штаммы 8, 8-1, 494), а также *P. fluorescens* выявлено сокращение количества спор на единице спороносящей поверхности на 61–66 %.

Подсчет показателя «интенсивность спороношения» у края колонии выявил увеличение количества спор в вариантах совместного культивирования возбудителя фузариоза томата и *B. subtilis* 8-1, а также *P. putida* М в сравнении с контролем. Возможно, это связано с выделением бактериями в искусственную питательную среду веществ, стимулирующих данный процесс. В остальных опытных вариантах отмечено отсутствие спор у края колонии микромицета *F. oxysporum* f. *lycopersici*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, скрининг тестируемых бактерий на предмет их антифунгальной активности позволил установить, что все изучаемые штаммы *B. subtilis* (8, 8-1, 4к31, 494) оказали ингибирующее воздействие на рост и спорообразование микромицета *B. cinerea*. Наиболее сильный угнетающий эффект был отмечен для штаммов *B. subtilis* 8 и 8-1. Изучаемая бактерия *P. fluorescens* также явилась антагонистом в отношении возбудителя серой гнили томата. В то же время вторая из тестируемых бактерий рода *Pseudomonas* – *Pseudomonas putida* М оказала стимулирующее воздействие на изучаемый патоген.

Аналогичная закономерность была выявлена и для второго микромицета – *F. oxysporum* f. *lycopersici*. Практически во всех опытных вариантах (кроме совместного культивирования с *Pseudomonas putida* М) было отмечено подавление роста и снижение репродуктивной активности возбудителя фузариоза томата.

Выявленный нами фунгистатический эффект штаммов *B. subtilis* был обнаружен и в исследованиях, описывающих их влияние на анаморфные фитопатогенные микромицеты р. *Alternaria* Ness [27]. Воздействие псевдомонад на развитие грибов р. *Alternaria* Ness проявилось в более сильном ингибировании конидиеобразования альтернарий в сравнении с их вегетативным ростом [28].

Список использованных источников

1. Бактерии на страже урожая / Н. П. Максимова [и др.] // Наука и инновации. – 2019. – № 3 (193). – С. 13–16.

2. Блажевич, О. В. Металлсвязывающая способность флуоресцирующих пигментов бактерий рода *Pseudomonas* / О. В. Блажевич, Н. П. Максимова // Микробиология и биотехнология на рубеже XXI столетия : материалы Международ. конф., посвящ. 25-летию Ин-та микробиологии НАН Беларуси, Минск, 1–2 июня 2000 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук НАН Беларуси, Науч. совет по проблемам биотехнологии, Белорус. микробиологическое общество, Ин-т микробиологии, Концерн «Белбиофарм», Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2000. – С. 25–26.

3. Великанов, Л. Л. Экологические проблемы защиты растений от болезней. Итоги науки и техники / Л. Л. Великанов. – Т. 6. – М. : Изд-во ВИНТИ, 1988. – 143 с.

4. Влияние биопрепаратов на комплекс фитопатогенных грибов в ризосфере сахарной свеклы / Е. Ю. Ильясова [и др.] // Современная микология в России : материалы 3-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2012. – Т. 3. – С. 279.

5. Генетические подходы к созданию штаммов-продуцентов биологически активных соединений у бактерий *Pseudomonas* / Н. П. Максимова [и др.] // Тр. БГУ. Сер. «Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем». – Минск, 2009. – Т. 4, ч. 2. – С. 15–55.

6. Круг, Г. Овощеводство / Г. Круг. – М. : Колос, 2000. – С. 576.

7. Лукаткин, А. А. Исследования влияния бактерий *Pseudomonas aureofaciens* на рост фитопатогена / А. А. Лукаткин, С. А. Ибрагимова, В. В. Ревин // Современная микология в России : материалы 3-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2012. – Т. 3. – С. 292–293.

8. Максимова, Н. П. Роль пиримидинов в биосинтезе флуоресцирующего пигмента пиовердина P_m у бактерий *Pseudomonas putida* М / Н. П. Максимова, О. В. Блажевич, Ю. К. Фомичев // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. – 1993. – № 5. – С. 22–26.

9. Максимова, Н. П. Антифунгальная активность биопрепаратов на основе природных ризосферных и эпифитных бактериальных штаммов / Н. П. Максимова, В. Д. Поликсенова, В. В. Лысак // Эколого-экономические основы усовершенствования интегрированных систем защиты растений от вредителей, болезней и сорняков : тез. докл. науч.-производ. конф., посвящ. 25-летию БЕЛНИИЗР : в 2 ч., Минск – Прилуки, 14–16 февр. 1996 г. / М-во сельского хоз-ва и прод. Респ. Беларусь, Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Белорус. науч.-исслед. ин-т защиты растений. – Минск, 1996. – Ч. 1. – С. 147–149.

10. Маслак, Д. В. Факторы антагонизма *Bacillus subtilis* КМБУ 30043 / Д. В. Маслак // Микробиология и биотехнология на рубеже XXI столетия : материалы Междунар. конф., посвящ. 25-летию Ин-та микробиологии НАН Беларуси, Минск, 1–2 июня 2000 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук НАН Беларуси, Науч. совет по проблемам биотехнологии, Белорус. микробиологическое общество, Ин-т микробиологии, Концерн «Белбиофарм», Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2000. – С. 59–60.

11. Микология: методы экспериментального изучения микроскопических грибов / авт.-сост.: В. Д. Поликсенова, А. К. Храмцов, С. Г. Пискун. – Минск : БГУ, 2004. – 38 с.

12. Микроорганизмы – возбудители болезней растений / В. И. Билай [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1988. – 552 с.

13. Пантелеев, А. А. Использование бактерий-антагонистов рода *Pseudomonas* для борьбы с возбудителями некоторых трахеомикозных заболеваний растений / А. А. Пантелеев. – Баку : [б. и.], 1968. – 22 с.

14. Перспективы применения бактериальных препаратов для борьбы с болезнями овощных культур в условиях закрытого грунта / Н. П. Максимова [и др.] // Актуальные проблемы фитовирусологии и защиты растений : материалы науч. конф., посвящ. 85-летию со дня рожд. чл.-корр. АН РБ, проф.

А. Н. Амбросова, Прилуки, 16 июня 1997 г. / М-во сельского хоз-ва и прод. Респ. Беларусь, Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Белорус. науч.-исслед. ин-т защиты растений, Белорус. фитопатол. общество. – Минск, 1997. – С. 112–114.

15. Перспективы использования биопрепаратов микробного происхождения для защиты растений / Н. П. Максимова [и др.] // Микробиология и биотехнология на рубеже XXI столетия : материалы Междунар. конф., посвящ. 25-летию Ин-та микробиологии НАН Беларуси, Минск, 1–2 июня 2000 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук НАН Беларуси, Науч. совет по проблемам биотехнологии, Белорус. микробиологическое общество, Ин-т микробиологии, Концерн «Белбиофарм», Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2000. – С. 183–184.

16. Пидопличко, В. Н. Антагонистическое действие бактерий родов *Pseudomonas* и *Bacillus* на возбудителей корневой гнили озимой пшеницы / В. Н. Пидопличко, А. Д. Гарагуля // Микология и фитопатология. – 1979. – Т. 13, вып. 1. – С. 53–57.

17. Подавление роста фитопатогенных грибов бактериями *Pseudomonas aureofaciens* и *Azotobacter inelandii* D-08 / А. С. Захаркина [и др.] // Современная микология в России : материалы 3-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2012. – Т. 3. – С. 328–329.

18. Поиск штаммов микроорганизмов потенциально активных в отношении бактериальных и грибных патогенов сельскохозяйственных культур / М. В. Клыкова [и др.] // Современная микология в России : материалы 3-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2012. – Т. 3. – С. 341.

19. Поликсенова, В. Д. Микозы томата: возбудители заболеваний, устойчивость растений / В. Д. Поликсенова. – Минск : БГУ, 2008. – 159 с.

20. Развитие фитопатогенов *Fusarium*, *Culmorum* и *Ustilago tritici* при культивировании с *Pseudomonas aureofaciens* / Ю. А. Бурова [и др.] // Современная микология в России : материалы 3-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2012. – Т. 3. – С. 271–272.

21. Романовская, Т. В. Спорообразующие бактерии рода *Bacillus* как основа для получения биопестицидов / Т. В. Романовская // Микробиология и биотехнология на рубеже XXI столетия : материалы Междунар. конф., посвящ. 25-летию Ин-та микробиологии НАН Беларуси, Минск, 1–2 июня 2000 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук НАН Беларуси, Науч. совет по проблемам биотехнологии, Белорус. микробиологическое общество, Ин-т микробиологии, Концерн «Белбиофарм», Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2000. – С. 195–196.

22. Смирнов, В. В. Бактерии рода *Pseudomonas* / В. В. Смирнов, Е. А. Киприанова. – Киев : Наукова думка, 1990. – 264 с.

23. Стадниченко, М. А. Продукты жизнедеятельности *Pseudomonas putida* КМБУ 4308 против несовершенного гриба *Botrytis cinerea* Pers: Fr. / М. А. Стадниченко, Ю. М. Кулешова // Современная микология в России : материалы 2-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2008. – Т. 2. – С. 301.

24. Сулейманова, Л. Р. Влияние бактериальных метаболитов на грибные фитопатогены растений / Л. Р. Сулейманова, С. П. Четвериков, О. Н. Логинов //

Современная микология в России : материалы 2-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2008. – Т. 2. – С. 301–302.

25. Трусевич, А. В. «Мягкие» способы защиты растений томата в теплице / А. В. Трусевич // Гавриш. – 2003. – № 5. – С. 14–18.

26. Федорович, М. Н. Влияние культуральной жидкости бактерии *Pseudomonasa urantica* В-162 на жизнеспособность спор видов рода *Alternaria* / М. А. Федорович, Е. Г. Веремеенко // Современная микология в России : материалы 2-го Съезда микологов в России. – М. : Нац. акад. микологии, 2008. – Т. 2. – С. 306.

27. Федюшко, И. А. Эффективность бактерий *Bacillus subtilis* как антагонистов фитопатогенных грибов р. *Alternaria* Ness / И. А. Федюшко // Биотехнология микроорганизмов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. проф. Ю. К. Фомичёву (1929–2015), Минск, 27–29 нояб. 2019 г. – Минск : Экоперспектива, 2019. – С. 208–211.

28. Федюшко, И. А. Эффективность бактерий рода *Pseudomonas* как антагонистов фитопатогенных грибов р. *Alternaria* / И. А. Федюшко // Биотехнология микроорганизмов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. проф. Ю. К. Фомичёву (1929–2015), Минск, 27–29 нояб. 2019 г. – Минск : Экоперспектива, 2019. – С. 212–215.

29. Stein, T. *Bacillus subtilis* antibiotics: structures, synthesis and specific function / T. Stein // Molecular. Microbiology. – 2005. – Vol. 56. – P. 845–857.

30. Van Loon, L. C. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria / L. C. Van Loon, P. A. H. M. Bakker, C. M. J. Pieterse // Annu. Rev. Phytopathol. – 1998. – Vol. 36, № 1. – P. 453–483.

Поступила в редакцию 16 декабря 2020 г.

S. G. Sidorova

ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SOIL BACTERIA AGAINST SOME MICOTIC AGENTS OF TOMATO

SUMMARY

The laboratory assessment of the antifungal activity of gg. Bacillus and Pseudomonas soil bacteria is presented in the article. The degrees of growth and development inhibition (colonies growing-up, sporogenesis intensity) against Fusarium wilt and gray mold causal agents of tomato were analyzed. The fungistatic effect of all studied B. subtilis strains (8, 8-1, 4k31, 494) on the growth and sporulation of pathogens was established. The strains of Bacillus subtilis (8 and 8-1) and the bacterium Pseudomonas fluorescens, which are of interest as antagonists of the causative agents of both fusarium and botrytiosis, have been isolated. They can be used to develop, on their basis, preparations with complex action, classified as environmentally safe plant protection products.

Key words: Fusarium wilt, gray mold, bacteria, inhibition, sporogenesis, growth, antagonist strains, screening.