

РОСТОСТИМУЛИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ МИКРООРГАНИЗМОВ И ХИМИЧЕСКИХ ФУНГИЦИДОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ПРИМЕНЕНИИ НА ТОМАТАХ**Л. З. Каримова, Ш. З. Валидов, Г. Ф. Рахманова, А. Р. Валиев**

Реферат. Исследование проводили с целью оценки ростостимулирующей активности штаммов микроорганизмов и их комбинаций с действующими веществами синтетических препаратов на растениях томата для разработки комплексных биопестицидных композиций, обеспечивающих эффективную защиту растений при уменьшении химической нагрузки на агроэкосистемы. Работу выполняли в 2025 году в лабораторных и вегетационных условиях с фиксацией биометрических показателей на 30-й, 60-й и 90-й день. Использовали штаммы микроорганизмов *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, *Pseudomonas fluorescens* WCS 365, *Pseudomonas putida* PCL 1760, *Trichoderma asperellum* T302, химические фунгициды мандипропамид, дифеноконазол и их сочетания с микроорганизмами на томатах сорта Хурма. Пестициды использовали в сниженных концентрациях (в 2 раза меньше доз, рекомендуемых производителем). Установлено статистически значимое положительное влияние всех биологических агентов на рост и продуктивность томатов. Наибольший в опыте эффект в чистом виде проявил штамм *T. asperellum* T302, обеспечивший увеличение высоты стебля относительно контроля на 145,8%, средней массы плода – на 22,5%. Выявлен синергетический эффект при комбинированном применении изучаемых средств: сочетание мандипропамида с *P. putida* PCL 1760 увеличивало длину корня, по сравнению с использованием препарата в чистом виде, на 65,7% (5,8 см против 3,5 см) и обеспечило формирование плодов с максимальной в опыте массой (228,2 г, +24,4% к контролю), дифеноконазол с *P. aureofaciens* BS 1393 – стабильное плодоношение (3 плода на кисти). Подтверждена способность биоагентов снижать фитотоксичность химических препаратов, а также возможность их использования при таком сочетании в половинных дозах без потери эффективности. Результаты экспериментов демонстрируют перспективность разработки комплексных биопестицидных композиций для экологизации защиты растений.

Ключевые слова: томат (*Solanum lycopersicum*), ростостимулирующие ризобактерии (PGPR), *Pseudomonas aureofaciens*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Trichoderma asperellum*, биологический контроль, мандипропамид, дифеноконазол, синергетический эффект, экологизация сельского хозяйства.

Введение. Современное сельское хозяйство сталкивается с необходимостью разработки устойчивых стратегий защиты растений, которые могли бы обеспечить продовольственную безопасность при одновременном снижении химической нагрузки на агроэкосистемы. Интеграция пестицидов и биологических агентов становится ключевым подходом в создании эффективных комплексных технологий защиты растений, что подтверждается многочисленными научными исследованиями последнего десятилетия [1, 2, 3].

Актуальность этой темы обусловлена возрастающей проблемой пестицидной резистентности фитопатогенов, ужесточением экологических требований к сельскохозяйственному производству и растущим спросом на органическую продукцию. По данным исследований [4, 5], рынок биопрепаратов ежегодно увеличивается на 15...17%, что отражает глобальный тренд на экологизацию сельского хозяйства.

Биологические агенты защиты растений, в частности микроорганизмы, стимулирующие рост растений (PGPR), представляют собой важнейший компонент плодородия почвы и здоровья растений. Они способны не только повышать урожайность и питательные качества сельскохозяйственных культур [6, 7], но и обеспечивать защиту от фитопатогенов через множество механизмов, включая конкуренцию за питательные вещества, продукцию антибиотиков и индукцию системной

устойчивости растений [8, 9].

Особый интерес представляют ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, которые обладают целым рядом физиолого-биохимических особенностей, делающих их перспективными объектами агробиотехнологии. Как отмечено в работах российских учёных, эти бактерии способны не только подавлять патогенную микрофлору, но и стимулировать рост растений через синтез фитогормонов и улучшение доступности питательных веществ [10, 11]. Исследования также показывают, что *Trichoderma spp.* выступают эффективными биоконтрольными агентами благодаря множеству механизмов антагонизма, включая микопаразитизм, конкуренцию за пространство и питательные вещества, а также индукцию защитных реакций растений [12].

Несмотря на очевидные преимущества биологических агентов, их эффективность в полевых условиях часто ограничена из-за влияния абиотических факторов и сложных взаимодействий в почвенной микробиоте. В этом контексте интеграция биологических агентов с химическими пестицидами представляется перспективным подходом, позволяющим повысить эффективность защиты растений при одновременном снижении дозировок химических препаратов [13, 14].

То есть, исследование возможностей совмещения пестицидов и биопрепаратов для

защиты и стимуляции роста растений не только отвечает на актуальные вызовы современного сельского хозяйства, но и открывает новые горизонты для создания эффективных, экологически безопасных технологий защиты растений в контексте устойчивого развития агроэкосистем. Как было показано нами ранее [15], комбинированное применение химических фунгицидов и микроорганизмов-антагонистов обеспечивает синергетический эффект, позволяя существенно снизить дозы химических препаратов при сохранении эффективности против фузариозной инфекции. В частности, летучие соединения штаммов *P. fluorescens* WCS 365 и *P. putida* PCL 1760 снизили прорастание конидий *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* с 70,1% в контроле до 10,8...4,2% в опытах, а комбинация дифенокназола с *P. aureofaciens* BS 1393 усилила рост корневой системы томатов на 108,9% даже при использовании сниженных концентраций фунгицида. Продолжая это направление исследований, мы сосредоточились на изучении влияния указанных комбинаций на биометрические показатели и продуктивность томатов в вегетационном опыте.

Цель исследования – оценить ростостимулирующую активность штаммов микроорганизмов и их комбинаций с действующими веществами синтетических препаратов на растениях томата для разработки комплексных биопестицидных композиций, обеспечивающих эффективную защиту растений при уменьшении химической нагрузки на агроэкосистемы.

Задачи исследования:

изучить влияние совместного применения синтетических пестицидов и биопрепаратов на биометрические показатели и физиологическое состояние растений томата, в том числе в условиях патогенной нагрузки;

определить оптимальные комбинации и концентрации химических пестицидов и биоагентов для разработки композиций, обеспечивающих эффективную защиту растений при сниженных дозах синтетических компонентов;

оценить антистрессовый эффект биологических агентов при совместном применении с химическими пестицидами и их способность снижать фитотоксичность химических компонентов для культурных растений.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов на базе ФИЦ КазНЦ РАН (г. Казань, Россия) в вегетационный период 2025 году.

Использовали перспективные штаммы микроорганизмов с различными механизмами антагонизма к фитопатогенам:

Pseudomonas aureofaciens BS 1393 – активный колонизатор корней растений и продуцент феназиновых антибиотиков, действует

как агент биологической защиты растений, используя механизм антибиозиса;

Pseudomonas fluorescens WCS 365 – активно колонизирует корневую систему растений и служит агентом их биологической защиты, механизм действия связан с индукцией системной устойчивости растений;

Trichoderma asperellum T302 – функционирует как агент биологической защиты растений, на основе паразитизма и хищничества по отношению к фитопатогенам;

Pseudomonas putida PCL 1760 – активно колонизирует корни растений и защищает их, используя механизм конкуренции за экологические ниши.

В качестве модельного фитопатогена использовали *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici* ZUM 2407 (Forl ZUM 2407), который вызывает корневые гнили томата.

В эксперименте применяли два химических фунгицида: мандипропамид – представитель класса мандамидов, и дифенокназол – триазольный компонент системного действия.

Концентрации пестицидов при использовании уменьшали, по сравнению с рекомендуемыми производителем, в 2 раза: дифенокназол – 2 мл на 5 л воды (вместо 4 мл/5 л), мандипропамид – 2,5...3,0 мл на 5 л воды (вместо 5...6 мл/5 л).

В качестве тест-культуры использовали томат (*Solanum lycopersicum*) сорта Хурма – среднеранний детерминантный сорт с плоско-округлыми желто-оранжевыми плодами (урожайность 4...5 кг с 1 растения). Сорт отличается восприимчивостью к фитофторозу и макроспориозу, что делает его подходящим для оценки эффективности защитных мероприятий [15].

Схема вегетационного опыта включал 15 вариантов обработки растений, которые были разделены на три группы. Первая группа состояла из пяти вариантов, в которых оценивали действие биопрепаратов в чистом виде. В качестве контроля использовали воду. Четыре остальных варианта предусматривали опрыскивание растений культурами штаммов *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, *Pseudomonas fluorescens* WCS 365, *Trichoderma asperellum* T302 и *Pseudomonas putida* PCL 1760. Вторая и третья группы включали по пять вариантов применения соответственно мандипропамида и дифенокназола (в чистом виде и четырех комбинациях с каждым из изучаемых четырёх штаммов микроорганизмов).

При закладке семян для проращивания использовали одноразовые кассеты для рассады и готовый торфяной почвогрунт, в каждую ячейку помещали по одному семени. Семена обрабатывали жидкими культурами штаммов с известным титром, инокуляцию проводили в стерильных фальконах. Растения выращивали в климатостате КС-200 СПУ с заданной программой смены температуры – днем 23°C, ночью 18°C, при влажности почвы 60...70% от полной влагоёмкости, влажности

воздуха 50...60% в условиях 16-часового светового дня в течение 30 суток. Обработку вегетирующих растений осуществляли через 14 суток после всходов, путем опрыскивания согласно схеме опыта.

В вегетационных опытах рассаду томатов высаживали в сосуды с черноземным субстратом. Влажность почвы в период вегетации поддерживали в пределах 70...75% от полной полевой влагоемкости. Обработку растений исследуемыми консорциумами микроорганизмов и химическими средствами проводили согласно схеме опыта путем опрыскивания в фазе формирования 3...4 листьев.

Метеорологические условия вегетационного периода отличались определенной нестабильностью. В мае отмечена среднемесячная температура +15°C, что соответствовало климатической норме. Июнь характеризовался повышенной среднемесячной температурой в пределах +17...18°C, при норме +15°C. При этом месяц можно условно разделить на две контрастные части: жаркую первую половину и прохладную вторую. Июль начался с температурных значений на 1,5...2,0°C ниже нормы (+20,3°C), однако со второй половины месяца произошло существенное потепление с повышением температуры до +30°C и выше. В августе отмечали резкие и продолжительные понижения

температуры, пришедшиеся на критические фазы цветения и формирования плодов, которые оказали особенно неблагоприятное воздействие на рост и развитие томатов.

В ходе эксперимента определяли высоту стебля и длину корня, а также их сухую массу. Помимо этого проводили учет количества цветков (завязей) и плодов в динамике на протяжении вегетационного периода с фиксацией данных на 30-й, 60-й и 90-й день.

Все опыты проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов осуществляли методом дисперсионного анализа с расчётом наименьшей существенной разности (НСР₀₅) при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Все штаммы микроорганизмов (табл. 1) достоверно увеличивали высоту растений томата, по сравнению с контролем (4,8 см). Максимальный в опыте эффект обеспечил *T. asperellum* T302, увеличив высоту стебля до 11,8 см (+145,8%), что превосходит контроль на 7,0 см. *P. aureofaciens* BS 1393 и *P. fluorescens* WCS 365 продемонстрировали сопоставимые результаты (соответственно 10,2 и 10,3 см, +112,5% и +114,6%). Использование *P. putida* PCL 1760 приводило к менее выраженному, но все еще значительному эффекту (8,6 см, +79,2%).

Таблица 1 – Биометрические показатели томатов при обработке биологическими объектами защиты растений в лабораторных условиях

Вариант	Высота стебля, см	Длина корня, см	Сухая масса стебля, г/растение	Сухая масса корня, г/растение
Вода (контроль)	4,8	2,7	0,0243	0,0109
<i>P. aureofaciens</i> BS 1393	10,2	4,0	0,1952	0,0670
<i>P. fluorescens</i> WCS 365	10,3	3,7	0,2286	0,0286
<i>T. asperellum</i> T302	11,8	4,3	0,3350	0,0266
<i>P. putida</i> PCL 1760	8,6	3,6	0,2280	0,0831
НСР ₀₅	0,4	0,3	0,1700	0,0100

Максимальное в опыте развитие корней также обеспечил штамм *T. asperellum* T302, увеличив их длину до 4,3 см (+59,3% к контролю). При использовании штаммов *P. aureofaciens* BS 1393, *P. fluorescens* WCS 365, *P. putida* PCL 1760 величина этого показателя возрастала соответственно на 48,1, 37,0 и 33,3%.

Применение всех штаммов способствовало кратному увеличению биомассы надземной части. Максимальное ее накопление – 0,3350 г, что превышало контрольное значение (0,0243 г) в 13,8 раза, отмечено в варианте с *T. asperellum* T302. При использовании *P. fluorescens* WCS 365 и *P. putida* PCL 1760 биомасса стебля увеличилась в 9,4 раза (до 0,2286 г и 0,2280 г соответственно), *P. aureofaciens* BS 1393 – в 8,0 раз (до 0,1952 г).

Наибольшую стимуляцию накопления

корневой биомассы обеспечил штамм *P. putida* PCL 1760, увеличив сухую массу корней до 0,0831 г, что в 7,6 раза превышало контроль (0,0109 г). Использование *P. aureofaciens* BS 1393 также способствовало значительному увеличению (0,0670 г, в 6,1 раза), а обработка *T. asperellum* T302 и *P. fluorescens* WCS 365 приводила к более умеренному росту – в 2,4 и 2,6 раза соответственно.

При совместном применении мандипропамида с микроорганизмами выявлена четкая специфичность взаимодействия (табл. 2). Штамм *P. putida* PCL 1760 продемонстрировал универсальный синергетический эффект, обеспечив формирование максимальной в опыте длины корня (5,8 см, +114,8% к контролю) и высоты стебля (10,0 см, +108,3%) с сухой массой 0,3210 г (в 13,2 раза больше контроля).

Таблица 2 – Биометрические показатели томатов в зависимости от применения мандипропамида с биологическими объектами защиты растений в лабораторных условиях

Вариант	Высота стебля, см	Длина корня, см	Сухая масса стебля, г/растение	Сухая масса корня, г/растение
Вода (контроль)	4,8	2,7	0,0243	0,0109
Мандипропамид	9,4	3,5	0,1071	0,0226
Мандипропамид + <i>P. aureofaciens</i> BS 1393	9,6	5,2	0,2750	0,0624
Мандипропамид + <i>P. fluorescens</i> WCS 365	8,3	4,5	0,3043	0,0329
Мандипропамид + <i>T. asperellum</i> T302	9,6	3,7	0,2387	0,0343
Мандипропамид + <i>P. putida</i> PCL 1760	10,0	5,8	0,3210	0,0538
НСР ₀₅	0,4	0,3	0,1300	0,0100

P. aureofaciens BS 1393 способствовал наибольшему развитию корневой системы. При его использовании длиной корня достигала 5,2 см (+92,6%), сухая масса корней – 0,0624 г (в 5,7 раза больше контроля). Применение *P. Fluorescens* WCS 365 обеспечило максимальное в опыте накопление биомассы стеблей (0,3043 г, в 12,5 раза), однако продемонстрировало антагонизм по высоте стебля (8,3 см, на 11,7% ниже, чем при мандипропамиде в чистом виде).

В варианте с *T. asperellum* T302 отмечено наименьшее в сочетании с мандипропамидом синергетическое влияние на развитие корней – +37,0%), что на 22...56% ниже других комбинаций.

Применение мандипропамида в чистом виде приводило к наиболее слабому воздействию на корневую систему (3,5 см, сухая масса 0,0226 г – в 2,1 раза больше контроля).

Совместное применение дифенокназола с микроорганизмами продемонстрировало менее выраженную синергию, чем при использовании мандипропамида (табл. 3). Наилучший в опыте результат показал *P. aureofaciens* BS 1393, обеспечив максимальную в опыте высоту стебля (9,3 см, +93,8% к контролю, +8,1% к чистому дифенокназолу), длину корня (3,6 см, +33,3%), биомассу стеблей (0,2004 г, в 8,2 раза больше контроля) и корней (0,0585 г, в 5,4 раза).

Таблица 3 – Биометрические показатели томатов в зависимости от применения дифенокназола с биологическими объектами защиты растений в лабораторных условиях

Вариант	Длина стебля, см	Длина корня, см	Сухая масса стеблей, г	Сухая масса корней, г
Вода (контроль)	4,8	2,7	0,0243	0,0109
Дифенокназол	8,6	3,1	0,1118	0,0220
Дифенокназол + <i>P. aureofaciens</i> BS 1393	9,3	3,6	0,2004	0,0585
Дифенокназол + <i>P. fluorescens</i> WCS 365	7,5	3,0	0,1114	0,0312
Дифенокназол + <i>T. asperellum</i> T302	8,8	3,3	0,1014	0,0250
Дифенокназол + <i>P. putida</i> PCL 1760	8,4	3,1	0,0859	0,0168
НСР ₀₅	0,3	0,2	0,0600	0,0100

Использование *P. fluorescens* WCS 365 с дифенокназолом приводило к уменьшению высоты стебля до 7,5 см, что на 12,8% ниже, чем в контроле и в варианте с пестицидом в чистом виде, при этом длина корня оставалась на уровне контроля (3,0 см). *T. asperellum* T302 показал умеренный эффект (высота 8,8 см, длина корня 3,3 см, биомасса стеблей 0,1014 г), который был ниже, чем в комбинации с мандипропамидом.

При сочетании дифенокназола с *P. putida* PCL 1760 отмечен самый худший результат: высота стебля – 8,4 см, длина корня – 3,1 см, биомасса стеблей – 0,0859 г (все показатели на уровне или ниже варианта с препаратом в чистом виде).

Сухая масса корней (0,0168 г) оказалась меньше, чем в контроле, на 54,1%. Это контрастирует с выраженным синергетическим эффектом штамма *P. putida* PCL 1760 при применении мандипропамида.

В условиях вегетационного опыта (табл. 4) наиболее выраженный в опыте эффект обеспечила обработка *T. asperellum* T302 и *P. fluorescens* WCS 365, где высота растений достигала 97,6 и 97,4 см соответственно, что на 6,9 и 6,7% превышает контроль (91,3 см). Это свидетельствует о выраженном ростостимулирующем эффекте указанных штаммов, вероятно, связанном с их способностью синтезировать фитогормоны и улучшать минеральное питание растений.

Таблица 4 – Биометрические показатели томатов при обработке биологическими объектами защиты растений в вегетационном опыте

Вариант	Высота растения, см	Количество цветков (завязей) и плодов на одной кисти, шт.			Масса одного плода, г
		(30-й день вегетации)	(60-й день вегетации)	(90-й день вегетации)	
Вода (контроль)	91,3	1	1	1	183,5
<i>P. aureofaciens</i> BS 1393	96,6	1	1	1	210,4
<i>P. fluorescens</i> WCS 365	97,4	3	1	1	212,7
<i>T. asperellum</i> T302	97,6	3	2	2	224,7
<i>P. putida</i> PCL 1760	96,1	2	2	2	215,8
НСП ₀₅	2,0	-	-	-	2,0

Особый интерес представляют данные по формированию генеративных органов. Обработка штаммами *T. asperellum* T302 и *P. fluorescens* WCS 365 привела к трехкратному увеличению количества цветков (завязей) на 30-й день вегетации, по сравнению с контролем. Этот эффект может быть обусловлен оптимизацией физиологических процессов в растениях под влиянием метаболитов исследуемых микроорганизмов. Примечательно, что в последующие фазы развития (60-й и 90-й дни вегетации) преимущество наблюдали за вариантами с применением *T. asperellum* T302 и *P. putida* PCL 1760, где отмечено стабильное плодоношение (2 плода на кисти в оба срока наблюдений). При обработке *P. fluorescens* WCS 365, несмотря на максимальное число завязей (3 шт.), на кистях осталось по 1 плоду, что указывает на слабое завязывание при обилии цветков.

Наиболее значимо с практической точки зрения влияние микробиологических препаратов на массу плодов. Все исследуемые микроорганизмы достоверно повышали величину этого показателя, однако максимальный в опыте эффект зафиксирован в варианте с применением *T. asperellum* T302, где средняя масса плода составила 224,7 г, что на 22,5%

превышало контрольные значения (183,5 г).

Результаты опытов свидетельствуют, что штамм *T. asperellum* T302 характеризуется наибольшей эффективностью по всему комплексу изученных параметров, включая высоту растений, количество плодов и их массу. Это согласуется с литературными данными о множественных механизмах действия грибов рода *Trichoderma*, включающих не только антагонистическую активность в отношении фитопатогенов, но и стимуляцию роста растений через синтез фитогормонов и индукцию системной устойчивости. Штамм *P. fluorescens* WCS 365 оказал наибольшее влияние на ранних этапах развития растений (высота, количество цветков), тогда как *P. putida* PCL 1760 более эффективно стимулировал формирование плодов (60-й день вегетации). Это может иметь практическое значение при выборе микробиологических препаратов для определенных фаз вегетации томатов.

Совместное применение химических фунгицидов в сниженных дозах с биологическими агентами обеспечило синергетический эффект, значительно превосходящий действие чистых химических препаратов по всем исследуемым показателям (табл. 5 и 6).

Таблица 5 – Биометрические показатели томатов в зависимости от применения мандипропамида в сочетании с биологическими объектами защиты растений в вегетационном опыте

Вариант	Высота растения, см	Количество цветков (завязей) и плодов на одной кисти, шт.			Масса одного плода, г
		(30-й день вегетации)	(60-й день вегетации)	(90-й день вегетации)	
Вода (контроль)	91,3	1	1	1	183,5
Мандипропамид	88,1	2	1	1	184,3
Мандипропамид + <i>P. aureofaciens</i> BS 1393	96,1	1	1	1	204,1
Мандипропамид + <i>P. fluorescens</i> WCS 365	96,6	3	1	1	212,8
Мандипропамид + <i>T. asperellum</i> T302	95,4	2	2	2	208,1
Мандипропамид + <i>P. putida</i> PCL 1760	98,4	3	1	1	228,2
НСП ₀₅	1,7	-	-	-	1,9

Таблица 6 – Биометрические показатели томатов в зависимости от применения дифеноконазола в сочетании с биологическими объектами защиты растений в вегетационном опыте

Вариант	Высота растения, см	Количество цветков (завязей) и плодов на одной кисти, шт.			Масса одного плода, г
		(30-й день вегетации)	(60-й день вегетации)	(90-й день вегетации)	
Вода (контроль)	91,3	1	1	1	183,5
Дифеноконазол	86,1	1	1	1	184,8
Дифеноконазол + <i>P. aureofaciens</i> BS 1393	96,9	3	3	3	218,3
Дифеноконазол + <i>P. fluorescens</i> WCS 365	94,3	1	1	1	208,0
Дифеноконазол + <i>T. asperellum</i> T302	92,2	2	1	1	200,5
Дифеноконазол + <i>P. putida</i> PCL 1760	95,4	2	1	1	203,7
НСР ₀₅	1,8	-	-	-	1,8

Все испытанные комбинации обеспечили статистически достоверное увеличение высоты растений, по сравнению с контролем и вариантами с применением только химических фунгицидов. Наиболее выраженное стимулирующее влияние на рост растений оказали комбинации: мандипропамид + *P. putida* PCL 1760 (98,4 см) – превышение контроля на 10,3 см (11,7%) и дифеноконазол + *P. aureofaciens* BS 1393 (96,9 см) – превышение контроля на 10,8 см (12,5%).

В варианте дифеноконазол + *P. aureofaciens* BS 1393 отмечали стабильно большое количество цветков/плодов (3 шт.) на протяжении всего периода наблюдений, что вдвое выше, чем в контроле и применении фунгицида в чистом виде. При использовании мандипропамида высокое количество цветков (3 шт.) отмечено на 30-й день в вариантах с *P. fluorescens* WCS 365 и *P. putida* PCL 1760, однако к 90-му дню повышенное количество плодов (2 шт.) отмечено только в варианте мандипропамид + *T. asperellum* T302. Эти результаты показывают, что комбинация с дифеноконазолом обеспечивает более стабильное плодоношение, тогда как комбинации с мандипропамидом стимулируют более активное цветение на ранних этапах развития.

Все испытанные комбинации способствовали значимому увеличению массы плодов, по сравнению с контролем (183,5 г) и вариантами с фунгицидами в чистом виде. Наибольший в опыте эффект отмечен в вариантах мандипропамид + *P. putida* PCL 1760 – 228,2 г (превышение контроля на 24,4%), дифеноконазол + *P. aureofaciens* BS 1393 – 218,3 г (+18,9%) и мандипропамид + *P. fluorescens* WCS 365 – 212,8 г (+16,0%). При этом штаммы, лучше стимулировавшие рост растений, обеспечили максимальное в опыте увеличение массы плодов, что подтверждает комплексное положительное влияние этих комбинаций на продуктивность томатов.

Выводы. Максимальный в опыте ростостимулирующий эффект обеспечило использование штаммов *T. asperellum* T302 и *P. putida* PCL 1760. В лабораторных условиях инокуляция *T. asperellum* T302 приводила к увеличению высоты стебля на 145,8% (11,8 см против 4,8 см контроля), сухой массы – в 13,8 раза. В вегетационном опыте штамм обеспечил увеличение высоты растения на 6,9% (97,6 см), количества цветков – в 3 раза, с формированием наибольшей массы плода – 224,7 г (+22,5%). *P. putida* PCL 1760 сильнее влиял на развитие корневой системы (в 7,6 раза больше, чем в контроле) и стабильное плодоношение (2 плода на кисти на протяжении 60...90 дней вегетации).

Комбинированное применение биоагентов со сниженной в 2 раза дозой мандипропамида обеспечивает выраженный синергетический эффект. Совместное использование с синтетическим фунгицидом *P. putida* PCL 1760 увеличивало длину корня, по сравнению с препаратом в чистом виде, на 65,7% (5,8 см против 3,5 см) и обеспечило формирование плодов массой 228,2 г (+24,4% к контролю). При этом его применение в сочетании с дифеноконазолом приводит к снижению сухой массы корней, по сравнению с контролем, на 54,1%. *P. aureofaciens* BS 1393 более универсален и лучше взаимодействует с дифеноконазолом (+8,1% по высоте стебля к варианту с препаратом в чистом виде). Это подчеркивает необходимость штамм-специфичного подбора при разработке комплексных биопестицидных композиций.

Результаты проведенных исследований подтверждают перспективность разработки комплексных биопестицидных композиций для экологизации защиты растений при снижении химической нагрузки на агроэкосистемы в 2 раза, что соответствует требованиям устойчивого развития сельского хозяйства.

Сведение о финансировании. Работа выполнена в рамках Государственного задания № 124050300050-4.

Литература

1. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture / R. Backer, J. S. Rokem, G. Ilangumaran, et al // *Frontiers in plant science*. 2018. Vol. 9. P. 1473. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30405652> (дата обращения: 05.10.2025). doi: 10.3389/fpls.2018.01473.
2. Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? / S. Drobby, M. Wisniewski, D. Macarasin, et al. // *Postharvest biology and technology*. 2019. Vol. 52. P. 137–145. doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.11.009.
3. De novo genome assembly and analysis unveil biosynthetic and metabolic potentials of *Pseudomonas fragi* A13BB / O. K. Awolope, N. H. O'Driscoll, A. Di Salvo, et al. // *BMC Genomic Data*. 2021. Vol. 22. P. 15. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34006216> (дата обращения: 10.10.2025). doi: 10.1186/s12863-021-00969-0.
4. Plant growth-promoting agents of pre- and postharvest diseases: fundamentals, methods of application and future perspectives / L. R. Morales-Cedeno, M. C. Orozco-Mosqueda, P. D. Loeza-Lara, et al. // *Microbiological research*. 2021. Vol. 242. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33059112> (дата обращения: 10.10.2025). doi: 10.1016/j.micres.2020.126612.
5. Догадина М. А., Правдюк А. И., Криворотова Е. И. Вызовы и тренды рынка биоpestицидов // *Вестник аграрной науки*. 2024. № 2 (107). С. 40–48. doi: 10.17238/issn2587-666X.2024.2.40.
6. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas* в современных агробиотехнологиях / Т. О. Анохина, Т. В. Сиунова, О. И. Сизова и др. // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 54–66. doi: 10.1134/S0002188118100034.
7. Рябчинская Т. А., Зими́на Т. В. Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // *Агрохимия*. 2017. № 12. С. 62–92.
8. Сидорова Т. М., Аллаxвердян В. В., Асатурова А. М. Роль бактерий рода *Pseudomonas* и их метаболитов в биоконтроле фитопатогенных микроорганизмов // *Агрохимия*. 2023. № 5. С. 83–93. doi: 10.31857/S0002188123050071.
9. Роль бактерий рода *Pseudomonas* в устойчивом развитии агроэкосистем и защите окружающей среды (обзор) / Т. Ю. Коршунова, М. Д. Бакаева, Е. В. Кузина и др. // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2021. Т. 57. № 3. С. 211–227. doi: 10.31857/S0555109921030089.
10. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture / S. Gouda, R. G. Kerry, G. Das, et al. // *Microbiological Research*. 2018. Vol. 206. P. 131–140. doi: 10.1016/j.micres.2017.08.016.
11. Микробные белки – элиситоры устойчивости растений к фитопатогенам и их потенциал для экологически ориентированной защиты сельскохозяйственных культур / Л. А. Щербакова, В. Г. Джавахия, Y. Duan и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58. № 5. С. 789–820. doi: 10.15389/agrobio.2023.5.789rus.
12. Попов И. Б., Белый А. И., Замотайлов А. С. Применение микроорганизмов в защите растений. Краснодар: Кубанский ГАУ. 2019. 125 с.
13. Fang Y., Ramasamy R. P. Current and prospective methods for plant disease detection // *Biosensors*. 2015. Vol. 5. No. 3. P. 537–561. doi: 10.3390/bios5030537.
14. Glick B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications // *Scientifica*. 2012. Article ID 963401. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24278762> (дата обращения: 14.10.2025). doi: 10.6064/2012/963401.
15. Эффективность комплексного использования биологических и химических средств защиты растений томата от фузариозной инфекции / Л. З. Каримова, Ш. З. Валидов, Г. Ф. Рахманова и др. // *Вестник Казанского ГАУ*. 2025. Т. 79. № 3. С. 31–38.

Сведения об авторах:

Каримова Лилия Зяудатовна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: Karimova-lcd@mail.ru

Валидов Шамиль Завдатович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: sh.validov@knc.ru

Рахманова Гульнара Фанисовна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: gulnara_rakhmanova@mail.ru

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия.

Валиев Айрат Расимович – доктор технических наук, первый проректор, чл.-корр. АН РТ, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

GROWTH-PROMOTING EFFECT OF MICROORGANISMS AND CHEMICAL FUNGICIDES USED IN COMBINATION ON TOMATOES

L. Z. Karimova, Sh. Z. Validov, G. F., Rakhmanova, A. R. Valiev

Abstract. The research was conducted to evaluate the growth-promoting activity of microorganism strains and their combinations with active ingredients of synthetic preparations on tomato plants for the development of integrated biopesticide formulations that ensure effective plant protection while reducing chemical load on agroecosystems. The work was carried out in 2025 under laboratory and vegetative conditions, with biometric indicators recorded on days 30, 60 and 90. Microbial strains *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, *Pseudomonas fluorescens* WCS 365, *Pseudomonas putida* PCL 1760 and *Trichoderma asperellum* T302, as well as the chemical fungicides mandipropamid and difenoconazole, and their combinations with microorganisms, were used on Khurma tomato cultivar. Pesticide concentrations were used at reduced doses (two times lower than manufacturer's recommendations). A statistically significant positive effect of all biological agents on tomato growth and productivity was established. The pure *T. asperellum* T302 strain demonstrated the greatest effect in the experiment, increasing stem height by 145.8% and average fruit mass by 22.5% relative to the control. A synergistic effect was revealed with combined application of the studied agents: the combination of mandipropamid with *P. putida* PCL 1760 increased root length by 65.7% (5.8 cm versus 3.5 cm) compared to the pure preparation and provided maximum fruit mass (228.2 g, +24.4% compared to the control), while the combination of difenoconazole with

P. aureofaciens BS 1393 ensured stable fruiting (3 fruits per cluster). The ability of bioagents to reduce the phytotoxicity of chemicals was confirmed, as well as the possibility of their use in this combination at half doses without loss of effectiveness. The experimental results demonstrate the potential for developing complex biopesticide compositions for greening plant protection.

Key words: tomato (*Solanum lycopersicum*), plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), *Pseudomonas aureofaciens*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Trichoderma asperellum*, biological control, mandipropamid, difenoconazole, synergistic effect, greening of agriculture.

References

1. Backer R, Rokem JS, Ilangumaran G. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. [Internet]. *Frontiers in plant science*. 2018; Vol.9. 1473 p. [cited 2025, October 05]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30405652>. doi: 10.3389/fpls.2018.01473.
2. Droby S, Wisniewski M, Macarasin D. Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest biology and technology*. 2019; Vol.52. 137-145 p. doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.11.009.
3. Awolope OK, O'Driscoll NH, Di Salvo A. De novo genome assembly and analysis unveil biosynthetic and metabolic potentials of *Pseudomonas fragi* A13BB. [Internet]. *BMC Genomic Data*. 2021; Vol.22. 15 p. [cited 2025, October 10]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34006216>. doi: 10.1186/s12863-021-00969-0.
4. Morales-Cedeno LR, Orozco-Mosqueda MC, Loeza-Lara PD. Plant growth-promoting agents of pre- and postharvest diseases: fundamentals, methods of application and future perspectives. [Internet]. *Microbiological research*. 2021; Vol.242. [cited 2025, October 05]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33059112>. doi: 10.1016/j.micres.2020.126612.
5. Dogadina MA, Pravdyuk AI, Krivorotova EI. [Challenges and trends of biopesticides market]. *Vestnik agrarnoy nauki*. 2024; 2 (107). 40-48 p. doi: 10.17238/issn2587-666X.2024.2.40.
6. Anokhina TO, Siunova TV, Sizova OI. [Rhizosphere bacteria of *Pseudomonas* genus in modern agrobiotechnologies]. *Agrokimiya*. 2018; 10. 54-66 p. doi: 10.1134/S0002188118100034.
7. Ryabchinskaya TA, Zimina TV. [Agents regulating plant growth and development in modern crop production]. *Agrokimiya*. 2017; 12. 62-92 p.
8. Sidorova TM, Allakhverdyan VV, Asaturova AM. [The role of *Pseudomonas* bacteria and their metabolites in the biocontrol of phytopathogenic microorganisms]. *Agrokimiya*. 2023; 5. 83-93 p. doi: 10.31857/S0002188123050071.
9. Korshunova TYu, Bakaeva MD, Kuzina EV. [The role of *Pseudomonas* Bacteria in sustainable development of agroecosystems and environmental protection (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2021; Vol.57. 3. 211-227 p. doi: 10.31857/S0555109921030089.
10. Gouda S, Kerry RG, Das G. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*. 2018; Vol.206. 131-140 p. doi: 10.1016/j.micres.2017.08.016.
11. Shcherbakova LA, Dzhavakhiya VG, Duan Y. [Microbial proteins as elicitors of plant resistance to phytopathogens and their potential for environmentally oriented protection of agricultural crops]. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 2023; Vol.58. 5. 789-820 p. doi: 10.15389/agrobiologiya.2023.5.789rus.
12. Popov IB, Belyy AI, Zamotaylov AS. *Primenenie mikroorganizmov v zashchite rasteniy*. [Use of microorganisms in plant protection]. Krasnodar: Kubanskiy GAU. 2019; 125 p.
13. Fang Y, Ramasamy RP. Current and prospective methods for plant disease detection. *Biosensors*. 2015; Vol.5. No.3. 537-561 p. doi: 10.3390/bios5030537.
14. Glick BR. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. [Internet]. *Scientifica*. 2012; Article ID 963401. [cited 2025, October 14]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24278762>. doi: 10.6064/2012/963401.
15. Karimova LZ, Validov ShZ, Rakhmanova GF. [Effectiveness of complex use of biological and chemical plant protection products for tomato against Fusarium infection]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2025; Vol.79. 3. 31-38 p.

Authors:

Karimova Liliya Zyauatovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: karimova-lcd@mail.ru
Validov Shamil Zavdatovich – Ph.D. of Biological Sciences, Head of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: sh.validov@knc.ru
Rakhmanova Gulnara Fanisovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Molecular Genetic and Microbiological Methods Laboratory, e-mail: gulnara_rakhmanova@mail.ru
Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia.
Valiev Ayrat Rasimovich – Doctor of Engineering Sciences, First Vice-Rector, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, e-mail: ayratvaliev@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.