

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ БАКТЕРИЯМИ РОДА *BACILLUS* НА ПОПУЛЯЦИЮ РИЗОСФЕРНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ^{1,2}В.С. Масленникова, аспирант¹В.П. Цветкова, кандидат сельскохозяйственных наук¹С.М. Нерсисян, аспирант^{1,2}Е.В. Бедарева, аспирант²Г.В. Калмыкова, кандидат биологических наук^{1,2}И.М. Дубовский, доктор биологических наук¹Л.А. Литвина, кандидат биологических наук,
доцент

Ключевые слова: биологические агенты, бактерии рода *Bacillus*, картофель, почвенная микрофлора, биологическая защита растений, ризосфера

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий, р.п. Краснообск, Новосибирской обл., Россия

E-mail: vera.cvetkova.23.05@mail.ru

Реферат. Понимание эффективности и потенциального механизма действия биологических агентов на различных почвенных профилях и культурах позволяет дать более точные рекомендации по их применению и в конечном итоге приводит к увеличению урожайности сельскохозяйственных культур. В работе исследованы состав и структура микробного сообщества почвы при предпосадочной инокуляции клубней картофеля сорта Тулеевский штаммами рода *Bacillus*: *B. thuringiensis* ssp. *morrisoni*, *B. thuringiensis* ssp. *dacota*, *B. subtilis*, *B. licheniformis* в 2019–2020 гг. в Новосибирской области, УПХ «Сад мичуринцев» Новосибирского ГАУ. Наиболее эффективным штаммом оказался *B. thuringiensis* vs. *dacota*, оказывающий многостороннее положительное влияние на почвенную микрофлору. Наиболее сильный эффект на бактерии-аммонификаторы оказал штамм *B. thuringiensis* vs. *morrisoni*. Все бактериальные штаммы угнетали развитие грибов родов *Fusarium* и *Penicillium*. Бактерии, усваивающие минеральный азот, развивались активнее всего при применении *B. thuringiensis* vs. *dacota* в 2019 г., а *B. thuringiensis* vs. *morrisoni* – в 2020 г. На группу целлюлозоразрушающих и азотфиксирующих бактерий большинство штаммов оказали положительное действие, но самую высокую стимуляцию роста бактерий показал *B. thuringiensis* vs. *dacota*, а *B. subtilis* угнетал данную группу. Штамм *Bacillus licheniformis* проявил антагонистические свойства в отношении фитопатогенов, что также представляет большой потенциальный интерес для его использования в растениеводстве.

INFLUENCE OF POTATO TUBERS INOCULATION BY THE BACILLUS BACTERIA ON THE POPULATION OF RHIZOSPHERIC MICROORGANISMS

^{1,2}V.S. Maslennikova, Postgraduate student

¹V.P. Tsvetkova, PhD in Agricultural Sciences

¹S.M. Nersesyan, Postgraduate student

^{1,2}E.V. Bedareva, Postgraduate student

²G.V. Kalmykova, PhD in Biological Sciences

^{1,2}I.M. Dubovsky, Doctor of Biological Sciences

¹L.A. Litvina, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Novosibirsk State Agrarian University”, Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal Scientific Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

Keywords. Biological agents, bacteria of genus *Bacillus*, potato, soil microflora, biological plant protection, rhizosphere.

Abstract. *Estimation of the effectiveness and potential mechanism of action of biological agents on various soil profiles and crops allows more accurate recommendations for their application, and ultimately leads to an increase in crop yields. In the article is researched the composition and structure of the soil microbial community during pre-planting inoculation of potato tubers of the Tuleevsky variety with strains of the g. Bacillus: B. thuringiensis ssp. morrisoni; B. thuringiensis sp. dacota; B. subtilis; B. liheniformis during 2019-2020 in the Novosibirsk region, Novosibirsk, Educational and Production Facility «Sad Michurintsev» of the Novosibirsk State Agrarian University. The most effective strain was B. thuringiensis vs. dacota, which has a multilateral positive effect on soil microflora. The strongest effect on ammonifying bacteria was shown by B. thuringiensis vs. morrisoni. All bacterial strains inhibited the development of Fusarium and Penicillium fungi. Bacteria those assimilate the mineral nitrogen developed most actively during application of B. thuringiensis vs. dacota in 2019, and B. thuringiensis vs. morrisoni in 2020. Most of the strains had a positive effect on the group of cellulose-destroying and nitrogen-fixing bacteria, but B. thuringiensis vs. dacota showed the highest stimulation of bacterial growth, while B. subtilis oppressed this group. Bacillus liheniformis strain showed antagonistic features against phytopatogens, which also represents a great potential interest for its use in crop production.*

Устойчивое земледелие характеризуется использованием природных источников и биологических средств при минимализации химических нагрузок. Химизация и интенсификация сельского хозяйства ведут к обеднению почвенного микробного сообщества, а следовательно, к снижению плодородия почв и ухудшению фитопатогенной ситуации. Наиболее опасными с точки зрения отрицательного эффекта на микроорганизмы являются фунгициды, особенно препараты с широким спектром действия и длительным

периодом сохранения в почве. Такие соединения могут в сильной степени подавлять развитие микроскопических грибов и частично бактерий, в том числе и азотфиксирующих, что может привести к нарушениям равновесия в почве. Микрофлора ризосферной почвы растений, с одной стороны, выполняет важные экологические функции деструктора органических соединений, а с другой – является естественным биостерилизатором патогенных организмов [1].

Известно, что микробиота ризосферы растений важна для здорового роста и развития хозяина [2, 3]. Было подтверждено, что микробное сообщество играет важную роль в системе почвенной среды, воздействует на биогеохимические циклы, такие как циклы азота [4], серы [5] и углерода [6].

Важнейшим механизмом взаимодействия в растительно-бактериальных ассоциациях является продукция фитогормонов. Фитогормоны регулируют рост и развитие растений. Например, ауксины стимулируют развитие корневой системы, регулируют дифференцировку органов и др. Эти вещества необходимы им как для собственного развития, так и для установления связей с растениями и другими почвенными микроорганизмами [7–10]. В целом продуценты различных фитогормонов обнаружены среди ризобактерий родов *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Bacillus* [11].

Для микрофлоры ризосферы и ризопланы растений характерно наличие грамотрицательных бактерий родов *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Xantomonas* и др., грамположительных бактерий рода *Bacillus*, актинобактерий родов *Nocardia*, *Micromonospora*, *Streptomyces* и др., микроскопических грибов родов *Penicillium*, *Gliocladium*, *Talaromyces*, *Humicola* и др. [12].

Широко используются приемы предпосевной инокуляции различными биоагентами, имеются довольно полные научные сведения об их действии на рост и развитие растений, однако практически отсутствуют данные по микрофлоре ризосферной почвы основных сельскохозяйственных культур. В связи с этим изучение состава и структуры микробного сообщества почвы ризосферной фракции, а также исследование влияния биологических препаратов на их изменения представляет большой научный интерес.

Ранее нами было показано фунгицидное и ростостимулирующее действие бактерий рода *Bacillus* на картофеле [13], однако изуче-

ние его влияния на почвенную микробиоту остается актуальным.

Цель исследования – оценка влияния инокуляции клубней картофеля бактериями рода *Bacillus* на численность ризосферных микроорганизмов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые опыты проводились в Новосибирской области, УПХ «Сад мичуринцев» Новосибирского ГАУ, в 2019–2020 гг. по методике Б.А. Доспехова [14]. Микробиологические тесты были выполнены в лаборатории биологической защиты и биотехнологии Новосибирского ГАУ. Объекты исследования: среднеранний картофель сорта Тулеевский (оригинатор – ГНУ Кемеровский НИИСХ Россельхозакадемии), штаммы рода *Bacillus*: *B. thuringiensis* ssp. *morrisoni* (Btm), *B. thuringiensis* ssp. *dacota* (Btd), *B. subtilis* (Bs), *B. licheniformis* (Bl) (предоставленные микробиологами из СФНЦА РАН – кандидатами биологических наук Г.В. Калмыковой, Н.И. Акуловой).

Почва опытного участка – серая лесная тяжелосуглинистая на бескарбонатном тяжелом суглинке. Обеспеченность гумусом пахотного слоя – 4,5%, реакция среды по pH – около 6,3, обеспеченность нитратным азотом достаточно низкая (менее 10 мг/кг), фосфором – повышенная (до 13 мг/100 г), калием – средняя (около 6 мг/100 г). Предшественник – пар. Густота посадки – 40,8 тыс/га, схема посадки 0,7 х 0,35 м. Площадь учетной делянки – 60 м², повторность – трехкратная.

Клубни перед посадкой были обработаны согласно схеме опыта: контроль (обработка водой); Bs (титр $2,0 \cdot 10^6$ КОЕ/мл); Bl (титр $5,1 \cdot 10^6$ КОЕ/мл); Btm (титр $2,7 \cdot 10^6$ КОЕ/мл); Btd (титр $5,6 \cdot 10^6$ КОЕ/мл).

Численность микроорганизмов определяли методом почвенных разведений [15]. Повторность микробиологических учетов – пятикратная. Учет численности почвенных микроорганизмов проводили на 4-ю неделю после посадки (15–20 июня) из образцов, взятых из

прикорневой зоны растений картофеля каждого варианта.

Агротехника включала зяблевую вспашку в конце сентября – начале октября, весной – вспашку, культивацию (15–20 см). Посадка проводилась вручную 25 мая (2019 г.) и 14 мая (2020 г.). Уход за посадками включал внесение удобрений «Кемира картофельное» (30–40 г/м² почвы), прополку, окучивание. Уборка производилась вручную.

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных компьютерных программ GraphPad Prism.

Важными условиями, определяющими развитие почвенных микроорганизмов, являются температура и влажность почвы и воздуха, которые представлены на рис. 1 и 2.

Май 2019 г. был холодным и дождливым. Осадков выпало на 6,4 мм больше среднегодового значения (37 мм), температура составила 10,6 °С. Температура в июне (16,3 °С) была чуть ниже по сравнению со среднегодовыми данными (16,9 °С). В июне и августе стояла устойчивая воздушная засуха (осадков выпало всего 33–47 % от нормы), что не способствовало развитию почвенных микроорганизмов. В июле выпало 98 мм осадков, что составило 161,0 % от среднемесячной суммы осадков, а температура составила 19,2 °С. Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетацию составил 1,1, что характеризует условия естественного увлажнения как удовлетворительные (см. рис. 1).

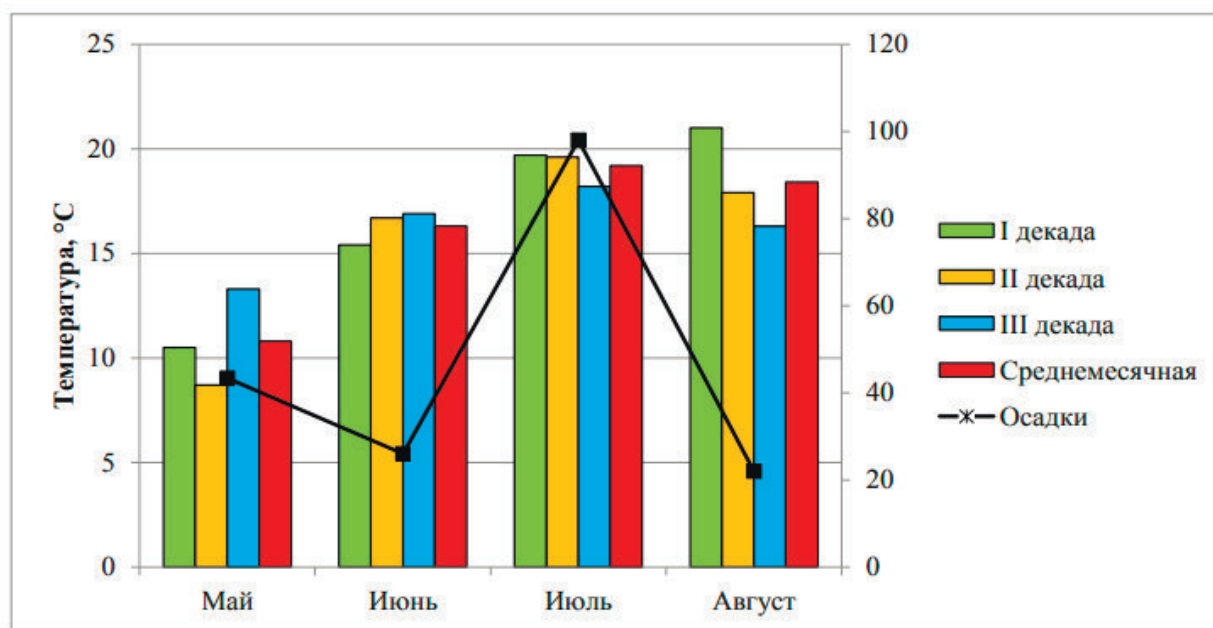


Рис. 1. Агроклиматическая характеристика вегетационного периода 2019 г. (по ГМС «Огурцово»)

Fig. 1. Agroclimatic characteristics of the 2019 growing season. (based on data from the SMS (State Meteorological Station "Ogurtsovo")

Май 2020 г. был теплым и дождливым. Осадков выпало на 24 мм больше среднегодового значения (36,8 мм), температура составила 14,8 °С. Температура в июне (15,9 °С) была немного ниже по сравнению со среднегодовыми данными (16,9 °С). В июне

стояла устойчивая воздушная засуха (осадков выпало всего 66 % от нормы), а вот в июле выпало 95 мм осадков 135,7 % от среднемесячной суммы, а температура составила 19,1 °С, что способствовало развитию почвенных микроорганизмов (см. рис. 2).

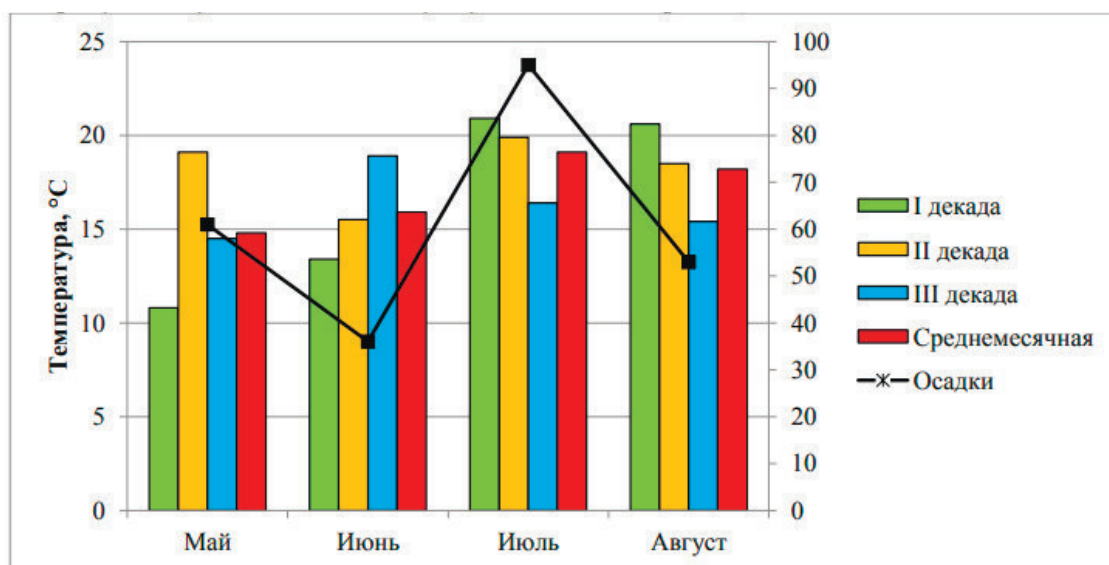


Рис. 2. Агроклиматическая характеристика вегетационного периода 2020 г. (по ГМС «Огурцово»)

Fig. 2. Agroclimatic characteristics of the growing season 2020. (from data of the SMS (State Meteorological Station "Ogurtsovo")

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важных показателей активности биологических процессов в почве является отношение численности микроорганизмов, развивающихся на крахмало-аммиачном (КАА) агаре и характеризующих процесс преобразования аммиачного азота, к численности микроорганизмов, учтенных посевом на мясо-пептонном агаре (МПА) и контролирующих превращение белковых веществ почвы [16].

Полученные данные показывают, что в первый год в почве всех исследуемых вариантов преобладали аммонификаторы, что подтверждает усиление гумификационных процессов и накопление аммонийных форм азота. В контрольном варианте 2020 г. преобладали бактерии, усваивающие минеральный азот, и соответственно там процессы были направ-

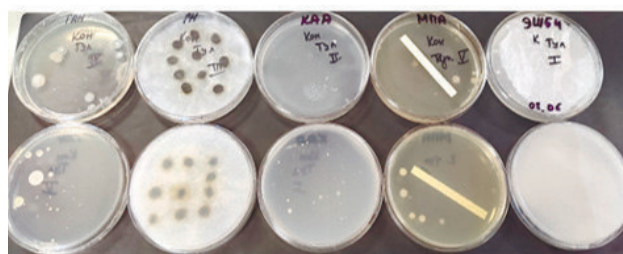
лены в сторону минерализации органического вещества и накопления нитратных форм азота. В вариантах В1 и В2а данные процессы были сбалансированы, так как коэффициент минерализации близок к 1, а в вариантах В3 и В2д направленность микробиологических процессов трансформации органических и минеральных веществ в этот период вегетации сохранилась (табл. 1, рис. 3).

Олиготрофная микрофлора завершает разложение остатков свежего органического вещества. Олиготрофы не выносят высокие концентрации органических веществ и потребляют вещества из растворов с низкой концентрацией как азотсодержащих (олигонитрофилы – Эшби), так и органических углеродсодержащих (олигокарбофилы – ГА) соединений. Численность олиготрофной микрофлоры в первый год была представлена олигокарбофилами, которые питаются мизер-

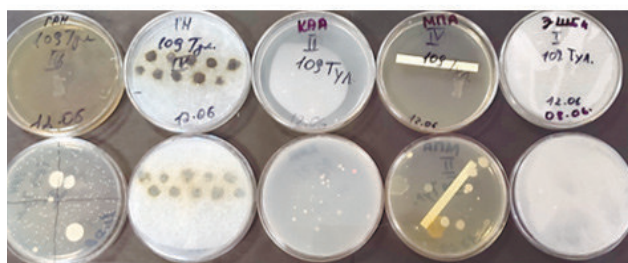
ными количествами органического углерода, и их большое количество может указывать на обедненность почвы этим элементом. Мы наблюдали увеличение количества данных микроорганизмов в вариантах Bta и Btd в сравнении с контролем, но коэффициент олиготрофности оказался ниже, чем в контроле, потому что численность остальных групп микроорганизмов в них также была высока. На основании этого можно сделать вывод, что почва была обеспечена доступными питательными

элементами для всех групп микроорганизмов и данные опытные варианты стимулировали развитие олигокарбофилов.

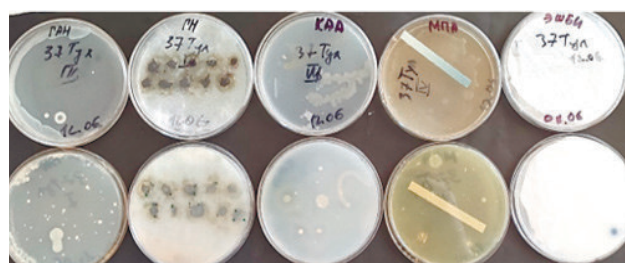
Во второй год была исследована численность бактерий-олигонитрофилов, способных развиваться при незначительных количествах азота в среде и способных к фиксации атмосферного азота. Количество азотфиксирующих бактерий в почве значительно увеличила обработка штаммом *B. thuringiensis* vs. *dacota*.



Контроль



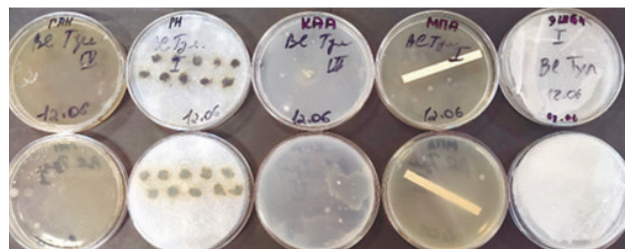
B. thuringiensis vs. *morrisoni* (109)



B. thuringiensis vs. *dacota* (37)



Bacillus subtilis (Bs)



Bacillus licheniformis (Bl)

Рис. 3. Влияние изучаемых агентов на рост колоний микроорганизмов на средах (слева направо): Ганзена, Гетченсона, крахмало-аммиачной агаре, мясо-пептонном агаре, Эшби, Чапека

Fig. 3. Effect of studied preparations on microbial colony growth on media (from left to right): Ganzen, Getchenson, starch ammonia agar, meat-peptone agar, Ashby, Chapek.

Таблица 1

Влияние штаммов на микробиоту почвы («Сад мичуринцев», 2019–2020 гг.)

Показатели	Контроль		BS		BL		BTM		BTD	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
Влажность почвы, %	11,9	15,92	13,8	15,92	11,9	15,92	14,2	15,92	12,7	15,92
Общая численность почвенной микрофлоры, $\times 10^4$ КОЕ/1 г абсолютносухой почвы	6,802	0, 276	6,155	0,259	5,952	0,342	9,872*	0,425	7,722	0, 509*
Численность сапротрофных почвенных грибов (среда Чапека), КОЕ/1 г абсолютносухой почвы	1243,8	523,1	1156,8	380,6*	1185,8	666,0	1608,8*	475,7	1244,6	142,7*
Численность грибов рода <i>Fusarium</i> (среда Чапека), КОЕ/1 г абсолютно сухой почвы	350,8	109	202,6*	57*	258,4*	80*	270,2*	10*	288,6*	66*
Численность грибов рода <i>Penicillium</i> (среда Чапека), КОЕ/1 г абсолютно сухой почвы	198,4	176	342,4*	19,9*	141,2*	13,3*	286,8*	38,5*	325,6*	20,9*
Заселенность почвы грибами рода <i>Fusarium</i> на селективной питательной среде (КДА), КОЕ/1 г абсолютно сухой почвы	381,8	233	329,2	230	260,6*	124*	312,0	309*	287,2*	71*
Количество актиномицетов в почве (среда – крахмало-аммиачный агар), $\times 10^5$ КОЕ/1 г абсолютно сухой почвы	0,606	18,6	0,536	3,2*	0,167*	23,3	0,409	19,5	0,309*	32,8*
Численность бактерий, усваивающих органический азот (среда – мясопептонный агар), $\times 10^5$ КОЕ/1 г абсолютносухой почвы	19,39	12,4	33,94*	2,8*	27,94*	12,8*	32,29*	12,4	30,01*	29,0*
Численность бактерий, усваивающих минеральный азот (среда – крахмало-аммиачный агар), $\times 10^5$ КОЕ/1 г абсолютно сухой почвы	4,08	24,7	3,53	0,9*	5,49*	7,1*	4,57	50,4*	5,85*	27,1
Численность бактерий - олиготрофов (среда – голодный агар), $\times 10^5$ КОЕ/1 г абсолютносухой почвы	4,08	1,32	2,44*	0,12*	4,32	0,93	5,90*	0,8	6,54*	0,34*
Численность целлюлозоразрушающих бактерий (среда Гетчинсона), $\times 10^5$ КОЕ/1 г абсолютно сухой почвы	5,73	0,71	7,39*	0,14*	7,05*	0,96	8,47*	0,32*	9,51*	1,38*
Минерализационный коэффициент КАА/МПА	0,21	1,32	0,10	0,12*	0,19	0,93	0,14	0,8	0,19	0,34*
Коэффициент олиготрофности ГА/МПА	0,21	0,71	0,07*	0,14*	0,16	0,96	0,18	0,32*	0,22	1,38*

*P < 0,05.

Грибы представляют собой неотъемлемую часть почвенного ценоза и являются активными гидролитиками полимерных углеводных субстратов остатков растений.

При осуществляемом ими гидролизе в почву поступают легкодоступные соединения. Анализ микроскопических почвенных грибов показал, что исследуемые штаммы способны

стимулировать грибную микрофлору: общая численность микроскопических грибов по сравнению с контролем была увеличена в варианте *B. thuringiensis* vs. *morrisoni* в первый год и во всех вариантах, кроме *B. subtilis*, – во второй. Несмотря на это, численность таких фитопатогенных грибов, как *Fusarium* и *Penicillium*, была значительно ниже контроля в большинстве вариантов опыта, особенно во второй год, что может свидетельствовать об их антагонистических свойствах и накопительном эффекте.

Группа бактерий целлюлозолитиков положительно отреагировала на интродукцию всех видов бацилл в первый год, а во второй ее стимуляция проявилась только при обработках *Bacillus liheniformis* и *B. thuringiensis* vs. *dacota*.

Количество актиномицетов было низким в оба года исследования, это связано с тем, что отборы проводились в начале лета, когда влажность почвы была достаточной, что неблагоприятно для развития актиномицетов, а также участия их на последних стадиях минерализации. Соответственно, данная группа микроорганизмов слабо развивалась в исследуемый период.

ВЫВОДЫ

1. Применение бактериальных штаммов способом обработки посадочного материала картофеля в оба года исследований обеспечивало стабильное воздействие на почвенное микробиологическое сообщество. Исследуемые штаммы стимулировали раз-

витие бактерий-аммонификаторов. Наиболее сильный эффект на данную группу оказал штамм *B. thuringiensis* vs. *morrisoni*.

2. Бактерии, усваивающие минеральный азот, развивались активнее всего при применении *B. thuringiensis* vs. *dacota* в 2019 г., а *B. thuringiensis* vs. *morrisoni* – в 2020 г.

3. На группу целлюлозоразрушающих бактерий большинство штаммов оказали положительное действие, но самую высокую стимуляцию роста бактерий показал *B. thuringiensis* vs. *dacota*.

4. Стимулирующий эффект на группу азотфиксирующих бактерий оказал только *B. thuringiensis* vs. *dacota*, *B. subtilis* угнетал данную группу, а остальные штаммы были нейтральны.

5. Все бактериальные штаммы угнетали развитие грибов родов *Fusarium* и *Penicillium*. Наивысшую антагонистическую активность проявили *Bacillus liheniformis* и *B. thuringiensis* vs. *dacota*.

6. Наиболее эффективным является штамм *B. thuringiensis* vs. *dacota*, оказывающий многостороннее положительное влияние на почвенную микрофлору. Полифункциональное положительное действие оказал также штамм *B. thuringiensis* vs. *morrisoni*, а штамм *Bacillus liheniformis* проявил антагонистические свойства в отношении фитопатогенов, что представляет большой практический интерес для оздоровления почв и выращиваемой растениеводческой продукции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-316-90006.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паркина И.Н. Особенности биологической активности почвы в фитогенном поле березы повислой // Вестник Самарского ГУ. – 2006. – № 7 (47). – С. 148–151.
2. Sturz A.V. The role of endophytic bacteria during seed piece decay and potato tuberization // Plant Soil. – 1995. – Vol. – P. 257–263.
3. The bacterial community in potato is recruited from soil and partly inherited across generations / F. Buchholz, L. Antonielli, T. Kostić, A. Sessitsch, B. Mitter // PLoS ONE. – 2019. – Vol. 14(11): e0223691. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223691>.
4. Prosser J.I., Nicol G.W. Relative contributions of archaea and bacteria to aerobic ammonia oxidation in the environment // Environ Microbiol. – 2008. – Vol. 10(11). – P. 2931–2941. – <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01775.x>.

5. *Influence of water management on the active root-associated microbiota involved in arsenic, iron, and sulfur cycles in rice paddies* / S. Zecchin, A. Corsini, M. Martin [et. al.] // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2017. – Vol. 101. – P. 6725–6738. – <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8382-6>.
6. *Gross phosphorus fluxes in a calcareous soil inoculated with Pseudomonas protegens CHA0 revealed by 33P isotopic dilution* / G. Meyer, E.K. Bünemann, E. Frossard [et al.] // *Soil Biol. Biochem.* – 2017. – Vol. 104. – P. 81–94. – <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.10.001>.
7. Моргун В.В., Коць С.Я., Кириченко Е.В. Ростстимулирующие ризобактерии и их практическое применение // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41, № 3. – С. 187–207.
8. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор) / А.И. Шапошников, А.А. Белимов, Л.В. Кравченко., Д.М. Виванко // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 16–22.
9. Ланкина Е.П., Хижняк С.В., Кулижский С.П. Перспективы использования смешанных культур психрофильных и психротолерантных бактерий в биологической защите растений от болезней // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 4. – С. 101–105.
10. Afzal M., Khan Q., Sessitsch A. Endophytic bacteria: Prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants // *Chemosphere.* – 2014. – Vol. 117. – P. 232–242. – <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.078>.
11. Koul V., Adholeya A., Kochar M. Sphere of influence of indole acid and nitric oxide in bacteria // *J. Basic Microbiol.* – 2015. – Vol. 55, N 5. – P. 543–553. – <https://doi.org/10.1002/jobm.201400224>.
12. *Structure and function of bacterial microbiota of plants* / D. Bulgarelli, K. Schlaeppi, S. Spaepen, [et al.] // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2013. – V. 64. – P. 807–838. – <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>.
13. Улучшение фитосанитарного состояния и продуктивности картофеля под действием перспективных штаммов бактерий рода *Bacillus* / Е.В. Шелихова, В.С. Масленникова, В.П. Цветкова, Г.В. Калмыкова, И.М. Дубовский // Аграрная наука. – 2021. – № 348 (4). – С. 91–96.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2014. – 350 с.
15. Сэги Йо. Методы почвенной микробиологии / Йо Сэги, И.Ф. Куренной; под ред. и с предисл. акад. ВАСХНИЛ Г.С. Муромцева. – М.: Колос, 1983. – 294 с.
16. Надежкин С.М. Подвижные формы органического вещества в полевых агроценозах // Системы воспроизводства плодородия почв в ландшафтном земледелии: материалы Всерос. науч.-практ. конф., г. Белгород. – 2001. – С. 139–141.

REFERENCES

1. Parkina I.N., *Vestnik Samarskogo GU*, 2006, No. 7 (47), pp. 148–151. (In Russ.)
2. Sturz A.V., The role of endophytic bacteria during seed piece decay and potato tuberization, *Plant Soil*, 1995, Vol. , pp. 257–263.
3. Buchholz F., Antonielli L., Kostić T., Sessitsch A., Mitter B., The bacterial community in potato is recruited from soil and partly inherited across generations, *PLoS ONE*, 2019, Vol. 14(11), e0223691, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223691>.
4. Prosser J.I., Nicol G.W., Relative contributions of archaea and bacteria to aerobic ammonia oxidation in the environment, *Environ Microbiol*, 2008, Vol. 10(11), pp. 2931–2941, <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01775.x>.
5. Zecchin S., Corsini A., Martin M. [et. al.], Influence of water management on the active root-associated microbiota involved in arsenic, iron, and sulfur cycles in rice paddies, *Appl Microbiol Biotechnol*, 2017, Vol. 101, pp. 6725–6738, <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8382-6>.
6. Meyer G., Bünemann E.K., Frossard E., Maurhofer M., Mäder P., Oberson A., Gross phosphorus fluxes in a calcareous soil inoculated with *Pseudomonas protegens* CHA0 revealed by 33P isotopic dilution, *Soil Biol. Biochem.*, 2017, Vol. 104, pp. 81–94, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.10.001>.
7. Morgun V.V., Koz S.Ya., Kirichenko E.V., *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rasteniy*, 2009. T. 41, No. 3, pp. 187–207. (In Russ.)

8. Shaposhnikov A.I., Belimov A.A., Kravchenko L.V., Vivanko D.M., *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2011, No. 3, pp. 16–22. (In Russ.)
9. Lankina E.P., Khizhnyak S.V., Kulizhsky S.P., *Vestnik KrasGAU*, 2013, No. 4, pp. 101–105. (In Russ.)
10. Afzal M., Khan Q., Sessitsch A., Endophytic bacteria: Prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants, *Chemosphere*, 2014, Vol. 117, pp. 232–242, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.078>.
11. Koul V., Adholeya A., Kochar M. Sphere of influence of indole acid and nitric oxide in bacteria, *J. Basic Microbiol.*, 2015. – Vol. 55, No. 5, pp. 543–553, <https://doi.org/10.1002/jobm.201400224>.
12. Bulgarelli D., Schlaeppi K., Spaepen S., Ver Loren van Themaat E., Schulze-Lefert P., Structure and function of bacterial microbiota of plants, *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2013, Vol. 64, pp. 807–838, <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>.
13. Shelikhova E.V., Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Kalmykova G.V., Dubovsky I.M., *Agrarnaya nauka*, 2021, No. 348 (4), pp. 91-96. (In Russ.)
14. Dosphehov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* (Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)). Moscow: Alliance, 2014, 350 p.
15. Segi Yo., *Metody pochvennoy mikrobiologii* (Methods of soil microbiology), Moscow: Kolos, 1983, 294 p.
16. Nadezhkin S.M., *Sistemy vosproizvodstva plodorodiya pochv v landshaftnom zemledelii* (Systems of reproduction of soil fertility in landscape agriculture), Materials of All-Russian scientific-practical Conf., Belgorod, 2001, pp. 139-141. (In Russ.)