ЭКОБИОТЕХ
ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru

УДК 579.264 UDC 579.264

Влияние температуры и загрязнения нефтью на взаимодействия почвенных микромицетов и штамма PGPR

Турковская О.В.*, Бондаренкова А.Д., Позднякова Н.Н., Муратова А.Ю.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия
*E-mail: turkovskaya_o@ibppm.ru

Аннотация

PGP-бактерии находят применение в качестве биопрепаратов в растениеводстве. Аборигенные почвенные микромицеты могут оказывать негативное влияние, снижая эффективность препаратов. С целью выяснения возможностей этих явлений и влияния на них температуры окружающей среды и присутствия загрязнителя (нефти) проведен эксперимент, в котором в качестве бактериального штамма использовали *Azospirillum brasilense* SR80 (IBPPM24), в качестве грибов – 5 штаммов различных микромицетов: *Fusarium oxysporum* IBPPM543, *Lecanicillium aphanocladii* IBPPM542, *Talaromyces sayulitensis* IBPPM664, *Trichoderma viride* IBPPM668 и *Trichoderma harzianum* IBPPM667. Исследованные микроорганизмы имели различный температурный оптимум роста, а также нефтеокисляющий потенциал, что сказывалось на характере их взаимодействий. Грибы *T. sayulitensis* IBPPM664 и *T. viride* IBPPM668 проявляли выраженный антагонизм в отношении PGPR-штамма. Бактерия *A. brasilense* SR80 тормозила рост фитопатогенного гриба *F. oxysporum* IBPPM543. Присутствие нефти в меньшей степени, но оказывало влияние на рост культур и бактериально-грибные взаимоотношения.

Ключевые слова

микромицеты ◆ *Azospirillum* ◆ PGPR ◆ антагонизм ◆ нефть ◆ температура

Поступила в редакцию: 05.09.2025
Принято в печать: 23.09.2025

Influence of temperature and oil pollution on soil micromycetes and PGPR strain interactions

Turkovskaya O.V.*, Bondarenkova A.D., Pozdnyakova N.N., Muratova A.Yu.

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia
*E-mail: turkovskaya_o@ibppm.ru

Abstract

PGP bacteria are used as biological products in crop production. Native soil micromycetes can have a negative effect, reducing the effectiveness of biopreparations. To clarify the possibilities of these phenomena and the influence of environmental temperature and the presence of a pollutant (oil) on them, an experiment was conducted in which *Azospirillum brasilense* SR80 (IBPPM24) was used as a bacterial strain, 5 strains of various micromycetes were used as fungi: *Fusarium oxysporum* IBPPM543, *Lecanicillium aphanocladii* IBPPM542, *Talaromyces sayulitensis* IBPPM664, *Trichoderma viride* IBPPM668, and *Trichoderma harzianum* IBPPM667. The microorganisms under study had different optimum growth temperatures, as well as oil-oxidizing potential, which affected the character of their interactions. The fungi *T. sayulitensis* IBPPM664 and *T. viride* IBPPM668 exhibited pronounced antagonism towards the PGPR strain. The bacterium *A. brasilense* SR80 inhibited the growth of the phytopathogenic fungus *F. oxysporum* IBPPM543. The presence of oil, to a lesser extent, but impacted on culture growth and bacterial-fungal relationships.

Keywords

micromycetes ◆ *Azospirillum* ◆ PGPR ◆ antagonism ◆ oil ◆ temperature

Received: 05.09.2025
Accepted: 23.09.2025

Цитировать | Cite as

DOI: 10.31163/2618-964X/2025-28 EDN: ORGXXD

ВВЕДЕНИЕ

Бактериальные препараты на основе стимулирующих рост растений ризосферных бактерий (PGPR) активно внедряются в растениеводство. Однако их эффективность во многом зависит от того, какое влияние окажет аборигенная микрофлора на вносимый микроорганизм. Грибы являются важнейшим компонентом почвенного микробного сообщества, превышая 50% общей биомассы почвенных микроорганизмов [Звягинцев 1999]. В ризосфере растений

они способны оказывать воздействие как на растение, так и на его ризосферные сообщества, в том числе PGPR. По данным литературы, это воздействие может носить как положительный, так и отрицательный характер.

Ризосферные бактерии в свою очередь также оказывают влияние на микобиом почвы. Известно, что некоторые PGPR способны стимулировать рост эндомикоризных грибов [Лабутова 2009; Vázquez *et al*. 2000]. Этот синергизм используется для борьбы с болезнями сельскохозяйственных культур. Однако в подобных исследованиях подчеркивается необходимость тщательного отбора штаммов микроорганизмов для создания эффективных консорциумов [Jambhulkar *et al*. 2018; Guzmán-Guzmán *et al.* 2024], с тщательным изучением механизмов взаимодействия. Например, некоторые механизмы, используемые PGPR и грибами *Trichoderma*, являются общими, например, выработка антибиотиков и ферментов, разрушающих клеточные стенки, а также способность конкурировать за пространство и питательные вещества и стимулировать иммунную систему растений. Однако PGPR могут колонизировать надземные ткани растения, в то время как *Trichoderma* в основном характеризуется своим микопаразитическим действием в ризосфере [Guzmán-Guzmán *et al*. 2024]. Усиление грибных биопрепаратов PGPR является одним из направлений повышения их эффективности [Jambhulkar *et al*. 2018].

В почве присутствует большое количество грибов, не образующих микоризу, являющихся сапротрофами или фитопатогенами. Широко распространены в природе грибы рода *Fusarium,* являющиеся разнообразными и вездесущими обитателями природных объектов. В первую очередь, они широко известны как приносящие вред народному хозяйству, вызывающие заболевания и токсикозы у растений и животных [Dinolfo *et al.* 2017]. Однако преобладающее число штаммов ведет сапротрофный образ жизни в почве, используя в качестве источников питания лигнин, сложные углеводы и различный мусор. Известны штаммы, образующие взаимовыгодный симбиоз с растениями и даже защищающие их от болезней [Gordon *et al.* 1989; Lemanceau *et al.* 1993].

В меньшей степени исследованы грибы рода *Talaromyces*, характеризующиеся исключительными биосинтетическими свойствами и являющиеся главными объектами интенсивных исследований, направленных на использование биоактивных продуктов в качестве цитотоксичных, противоопухолевых, фитотоксичных и противомикробных агентов [Lei *et al.* 2022]. В настоящее время способность *Talaromyces* к эндофитной колонизации растений дала толчок фундаментальным и прикладным исследованиям, касающимся их экологической роли в растениеводстве в предотвращении заболеваний и стимулировании роста растений [Dethoup *et al.* 2018; Naraghi *et al.* 2012] Выявленная способность этих грибов подвергать деградации различные поллютанты расширяет потенциал применения этих грибов и в экологических биотехнологиях [Zhang *et al.* 2021].

Род *Lecanicillium* известен, прежде всего энтомопатогенными видами [Manfrino *et al.* 2017; Ali *et al*. 2017] и паразитами высших грибов, например, культивируемых в производственных масштабах *Agaricus* и *Schizophyllum* [El-Debaiky 2017].

Микромицеты перечисленных выше таксонов широко распространены в окружающей среде. Их представители, изученные в данной статье, были выделены нами из природных

объектов [Pozdnyakova *et al.* 2019]. Этим обосновано их использование в качестве тестовых для выяснения влияния грибов на азоспириллу как потенциальное бактериальное удобрение.

Азоспириллы, являясь классическим представителем PGPR [Pelagio-Flores *et al.* 2025], имеют положительный опыт их использования в качестве биопрепаратов [Cassán *et al*. 2020]. В комплекс свойств PGPR входит и контроль фитопатогенов, в частности грибов. Штамм, использованный в нашем исследовании *A. brasilense* SR80, выделен в саратовском регионе [Позднякова *и др*. 1988]. Семейство *Rhodospirillaceae,* к которому принадлежит указанный микроорганизм, согласно проведенному нами метагеномному анализу (неопубликованные данные), является одним из доминирующих в почвах Саратовской области, что позволяет ожидать хорошую выживаемость *A. brasilense* SR80 при интродукции в окружающую среду.

Все использованные в исследовании штаммы обладали способностью разрушать углеводороды нефти. Нефтеокисляющая активность – широко распространенный признак среди почвенных микроорганизмов. На нем основана самоочищающая способность загрязненных природных объектов. Эта способность позволяет микроорганизмам, утилизирующим нефть, иметь преимущества в нарушенных экотопах, а в аспекте экологических биотехнологий представляется перспективой их использования в технологиях био- и фиторемедиации.

Взаимоотношения интродуцируемых бактерий с аборигенными почвенными микроорганизмами перед внесением биопрепаратов в почву практически не тестируются, в то время как именно это во многом определяет их эффективность.

Целью представленной работы явилось установление влияния температуры и загрязнителя (нефти) на характер взаимодействий грибов-аскомицетов с *Azospirillum brasilense.*

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе исследовали грибы аскомицеты: *Fusarium oxysporum* IBPPM543, *Lecanicillium aphanocladii* IBPPM542 и *Talaromyces sayulitensis* IBPPM664 выделены из окружающей среды, штаммы *Trichoderma harzianum* IBPPM667 и *Trichoderma viride* IBPPM668 получены из лаборатории изучения экологических функций почвы Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. В качестве представителя PGP-бактерии использовали штамм *Azospirillum brasilense* SR80 (IBPPM24). Все штаммы обладают нефтеокисляющей активностью. Микроорганизмы хранятся в Коллекции ризосферных микроорганизмов ИБФРМ РАН (http://collection.ibppm.ru).

Антагонистическую активность исследуемых бактериального и грибных штаммов проверяли на агаризованной среде LB, используя модифицированную технику двойных культур [Royse, Ries 1978; Kalaiselvi, Panneerselvam 2011]. Для этого бактериальный штамм засевали сплошным газоном на чашки, после чего на поверхности агара размещали агаровые блоки (6 мм в диаметре) с выросшим на богатой среде для базидиомицетов [Bezalel *et al.* 1997] грибным мицелием (по два или три блока на чашку). В контрольном варианте блоки раскладывали на поверхность не инокулированного бактериями LB-агара. Нефть вносили в незастывшую агаризованную среду в количестве 200 мкл на чашку, перемешивали круговым движением и оставляли застывать, после чего проводили посев микроорганизмов. Чашки

инкубировали при четырех температурных режимах – 24, 30, 37 и 45°С в течение 5-7 сут, затем оценивали рост микроорганизмов по радиусу роста колоний и наличие прозрачных зон вокруг блоков, свидетельствующих о подавлении роста бактерий. Полученные результаты выражали в показателях ZI - диаметр зон ингибирования бактериального роста и RI - ингибирования радиального роста гриба в %, рассчитанного по формуле: RI = 100 × (R1-R2) / R1, где R1 – радиальный рост гриба в контроле, R2 - радиальный рост гриба на опытной чашке.

Все варианты были в двух повторностях. Полученные экспериментальные данные подвергали статистической обработке, вычисляя средние значения, для сравнения которых использовали показатели стандартного отклонения и доверительного интервала при $P \leq 0{,}05$. Вычисления проводили в программе Microsoft Excel2007 (Microsoft, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный эксперимент показал не только изменение взаимовлияния грибов-аскомицетов и ризосферной бактерии не только при разных температурах, но и воздействие нефти на этот процесс.

Исследуемые организмы имели различный температурный оптимум роста (табл. 1 - 3). Для всех грибов за исключением *T. sayulitensis* IBPPM664 он составлял 24-30°С. Для *T. sayulitensis* IBPPM664 оптимум роста наблюдался при 37°С, для бактериальной культуры *A. brasilense* SR80 – 30-37°С. Температура 45°С полностью подавляла рост всех исследованных культур.

Таблица 1. Радиус грибного мицелия при росте на агаризованной среде LB в течение 5 сут (мм)

Присутствие бактерии	Т °С	Обра-ботка	Грибы				
			Fusarium oxysporum IBPPM543	*Lecanicillium aphanocladii* BPPM542	*Talaromyces sayulitensis* IBPPM664	*Trichoderma viride* IBPPM668	*Trichoderma harzianum* IBPPM667
Контроль	24	без нефти	31,8 ± 2,4	31,3 ± 4,8	4,0 ± 0,8	27,5 ± 6,5	31,3 ± 2,5
	30		30,0 ± 4,1	21,3 ± 2,5	5,5 ± 1,9	38,8 ± 2,5	31,3 ± 6,3
	37		0	0	13,0 ± 2,5	2,0 ± 0,8	0,5 ± 0,5
	45		0	0	1,0	0	
	24	с нефтью	36,8 ± 2,4	32,3 ± 4,8	7,0 ± 1,2	33,0 ± 2,5	40,8 ± 4,4
	30		28,8 ± 3,0	21,3 ± 2,5	8,5 ± 1,0	36,3 ± 2,5	36,8 ± 4,3
	37		2,8 ± 0,8	0	9,5 ± 1,0	4,0 ± 1,2	1,5 ± 0,6
	45		0	0	0	0	0
Azospirillum brasilense SR 80	24	без нефти	23,8 ± 10,1	33,8 ± 2,4	5,5 ± 3,5	23,0 ± 3,5	30,0 ± 5,7
	30		5,0 ± 1,1	17,5 ± 2,8	5,0 ± 1,2	31,3 ± 8,4	23,8 ± 4,7
	37		0	0	2,5 ± 0,5	2,0 ± 0,1	0
	45		0	0	1,0 ± 0,2	0	0
	24	с нефтью	25,8 ± 1,5	23,3 ± 3,4	5,5 ± 1,0	36,3 ± 3,4	7,0 ± 2,1
	30		27,5 ± 2,8	19,5 ± 3,3	3,8 ± 1,5	28,8 ± 2,4	22,5 ± 4,9
	37		0	0	1,5 ± 1,5	1,0 ± 0,7	0
	45		0	0	0	0	0

Таблица 2. Рост микромицетов *Fusarium oxysporum* IBPPM543*, Lecanicillium aphanocladii* IBPPM542*, Talaromyces sayulitensis* IBPPM664 при различных условиях культивирования

Присутствие бактерии	Варианты опыта			
	Без нефти	С нефтью	Без нефти	С нефтью
	24°		30°	
Без бактерии				
A. brasilense SR80				
	37°		45°	
Без бактерии				
A. brasilense SR80*				

Примечание: *F. oxysporum IBPPM543 (справа), L. aphanocladii IBPPM542 (слева), T. sayulitensis IBPPM664 (внизу)*

Температура культивирования оказывала влияние не только на рост, но и характер взаимодействия грибов и бактерии. Со стороны некоторых грибных штаммов наблюдалось бактериостатическая/бактерицидная активность, со стороны азоспириллы - антагонизм или стимуляция грибного роста.

Зона отсутствия бактериального роста выявлялась у *T. viride* IBPPM668 при 37°, а у *T. sayulitensis* IBPPM664 при 30 и 37°C, причем, при 30°C она была в два раза больше (табл. 4).

Таблица 3. Рост микромицетов *Trichoderma harzianum* IBPPM667 и *Trichoderma viride* IBPPM668 при различных условиях культивирования

Присутствие бактерии	Варианты опыта			
	Без нефти	С нефтью	Без нефти	С нефтью
	24°		30°	
Без бактерии				
A. brasilense SR80				
	37°		45°	
Без бактерии				
A. brasilense SR80				

Примечание: *T. viride IBPPM668 (справа), T. harzianum IBPPM667 (слева)*

В свою очередь, азоспирилла тормозила рост почти всех аскомицетов, температура оказывала влияние на этот процесс (табл. 5). *F. oxysporum* IBPPM543 ингибировался наиболее выраженно при 30°С, а *T. sayulitensis* IBPPM664 – при 37°С. Следует отметить, что при 24°С азоспирилла несколько стимулировала рост этого гриба. Рост обеих триходерм ухудшался в присутствии азоспириллы, особенно для *T. harzianum* IBPPM667 при 37°С.

Таблица 4. Влияние грибов на рост *Azospirillum brasilense* SR 80 (ZI –диаметр зоны ингибирования бактериального роста, мм)

Т °С	Обработка	ZI, мм				
		Fusarium oxysporum IBPPM543	*Lecanicilium aphanocladii* IBPPM542	*Talaromyces sayulitensis* IBPPM664	*Trichoderma viride* IBPPM668	*Trichoderma harzianum* IBPPM667
24	без нефти	–	–	–	–	–
30		–	–	10,0	–	–
37		–	–	5,0	7,0	н.р.
45		н.р.	н.р.	–	н.р.	н.р.
24	с нефтью	–	–	–	–	–
30		–	–	7,0	–	–
37		н.р.	н.р.	–	6,8	н.р.
45		н.р.	н.р.	н.р.	н.р.	н.р.

Примечание: н.р. – отсутствие роста гриба; «-» – отсутствие зоны ингибирования роста

Таблица 5. Влияние *Azospirillum brasilense* SR 80 на рост грибов при разных температурах (RI – ингибирование радиального роста мицелия, %)

Обработка	T °C	RI, %				
		Fusarium oxysporum IBPPM543	*Lechanicillum aphanocladii* IBPPM542	*Talaromyces sayulitensis* IBPPM664	*Trichoderma viride* IBPPM668	*Trichoderma harzianum* IBPPM667
Без нефти	24	-25,2	0,0	37,5	-16,4	-4,0
	30	-83,3	-17,6	-9,1	-19,4	-24,0
	37	н.р.	н.р.	-88,5	0,0	-100,0
	45	н.р.	н.р.	0,0	н.р.	н.р.
С нефтью	24	-29,9	-25,6	-21,4	9,8	-82,8
	30	-4,3	-8,2	-56,0	-20,7	-38,8
	37	-100,0	н.р.	-74,0	-75,0	-100,0
	45	н.р.	н.р.	н.р.	н.р.	н.р.

Примечание: Положительные значения – стимуляция роста, отрицательные значения – ингибирование роста; RI = 100 × (R1-R2) / R1, где R1 – радиальный рост гриба в контроле (без бактерии), R2 - радиальный рост гриба на чаше с бактериальной культурой

Все варианты опыта также проводились в присутствии нефти, которую наносили на поверхность агаризованной среды (табл. 1-6). Показано, что ее эффект был отчетливым.

В контрольном варианте (без бактерии) при 24°C нефть оказывала стимулирующий эффект на рост четырех из пяти исследованных аскомицетов – *F. oxysporum* IBPPM543, *T. sayulitensis* IBPPM664, *T. viride* IBPPM668 и *T. harzianum* IBPPM667 (табл. 5) Стимуляция нефтью роста *T. sayulitensis* IBPPM664 сохранялась и при увеличении температуры культивирования до 30°C, а роста *T. viride* IBPPM668 и *T. harzianum* IBPPM667 – до 37°C, тогда как при 45°C рост грибов отсутствовал полностью. На рост *L. aphanocladii* IBPPM542 нефть не оказывала какого-либо заметного влияния при температурах, благоприятных для роста этого гриба (24 и 30°C).

Таблица 6. Влияние нефти на рост аскомицетов при различных температурах (RI – ингибирование роста мицелия по сравнению с вариантом без нефти, %)

Вариант опыта	T °C	RI, %				
		Fusarium oxysporum IBPPM543	*Lechanicillum aphanocladii* IBPPM542	*Talaromyces sayulitensis* IBPPM664	*Trichoderma viride* IBPPM668	*Trichoderma harzianum* IBPPM667
Контроль без бактерии	24	15,7	0	75,0	20,0	30,4
	30	-4,2	0	54,5	0	17,6
	37	–	–	-26,9	100,0	200,0
	45	–	–	0	0	0
Azospirillum brasilense SR 80	24	8,4	-31,1	0	57,6	-76,7
	30	450	11,4	-25,0	-8,0	5,3
	37	–	–	-40,0	-50,0	0
	45	–	–	0	0	0

Примечание: Положительные значения – стимуляция роста, отрицательные значения – ингибирование роста; – – отсутствие роста, как с нефтью, так и без нее; RI = 100 × (R1-R2) / R1, где R1 – радиальный рост гриба в контроле (без нефти), R2 - радиальный рост гриба на чашке с нефтью.

Сопоставляя полученные данные, можно констатировать, что наблюдается взаимное ингибирование гриба *T. sayulitensis* IBPPM664 и бактерии *A. brasilense* SR80, причем, как в

отсутствии, так и в присутствии нефти. Отчетливые зоны ингибирования роста бактерии образуются фактически при отсутствии радиального роста гриба при 30 и 37°С. То же наблюдается и в случае *T. viride* IBPPM668, но только при 37°С. Стимуляция роста триходерм нефтью при 37°С, которая обозначена как 100 и 200% на самом деле несущественна, радиальный рост грибов вокруг дисков практически отсутствовал и на чистой, и на загрязненной чашках и различался на доли мм (табл. 2, 3).

Наиболее отчетливое взаимовлияние наблюдалось в случае *Talaromyces* с азоспириллой при 30 и 37°С, когда на чашке без бактерии гриб давал хороший радиальный рост, особенно при 37°С, который не наблюдался в присутствии азоспириллы. При этом азоспирилла тоже не росла вокруг грибного диска.

Таким образом, *T. sayulitensis* IBPPM664 и *T. viride* IBPPM668 являются антагонистами азоспириллы. *A. brasilense* SR80, в свою очередь, несколько подавляла рост *Talaromyces* при 30 и 37°С и *T. harzianum* IBPPM667 при 30°С.

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы, что температура культивирования и состав среды оказывали отчетливый эффект на характер взаимодействия грибов и бактерий, регулируя рост обоих организмов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение межорганизменных взаимодействий относится к числу актуальных направлений современной биологии, экологии, биотехнологии. Эти знания чрезвычайно важны в фундаментальном и прикладном отношении. Следует отметить, что в отличие от детально изученного сигналинга в мутуалистическом бобово-ризобиальном симбиозе и в патосистемах [Badri *et al.* 2009; Rodriguez *et al.* 2019] взаимодействия ассоциативных и несимбиотических организмов исследованы недостаточно.

Известно, что температура относится к тем стрессовым факторам, которые могут изменять аллелопатические свойства почвенных микроорганизмов, лежащие в основе их взаимоотношений (продукция антибиотиков, гидролитических ферментов, токсинов и др.), оказывая влияние на такие важнейшие характеристики, как активность ферментов и вязкость клеточных мембран [Поляк, Сухаревич 2019]. Увеличение аллелопатической активности происходит и под влиянием антропогенных факторов, в том числе при загрязнении почвы нефтепродуктами, пестицидами, тяжелыми металлами [Свистова *и др.* 2004].

Как указывалось выше, ризосферные бактерии, обладающие стимулирующей рост растений активностью (PGPR), в настоящие время являются основой биопрепаратов, используемых в растениеводстве. Штамм, использованный в нашей работе *A. brasilense* SR80, достаточно хорошо нами изучен ранее на продукцию фитогормонов (ауксинов), фиксацию азота, растворение фосфатов, а также нефтеокисляющую активность [Муратова *и др.* 2005; Муратова *и др*. 2022; Muratova *et al.* 2010].

Настоящее исследование выявило потенциал биоконтроля у *A. brasilense* SR80 в отношении ряда аскомицетов. В присутствии азоспириллы наблюдалось торможение роста почти всех исследованных штаммов. Наиболее отчетливо это проявлялось в случае *F. oxysporum и T. sayulitensis.* Температура оказывала влияние на этот процесс: максимальный эффект наблюдался в рамках температурного оптимума роста азоспириллы. Важность температурного режима применения биопрепарата показана в литературе на примере обработки нута консорциумом бактерий, когда максимальное ингибирование роста мицелия и прорастания конидий *F. oxysporum* происходило при температурном диапазоне,

оптимальном для роста бактерий и выработки ингибирующих метаболитов [Landa *et al.* 2004].

Интересны данные, полученные нами для триходерм. Известно, что представители *Trichoderma* sp. являются антагонистами по своей природе с богатыми ресурсами и широким кругом действий [Grondona *et al*. 1997; Kalaiselvi, Panneerselvam 2011]. Однако показано, что под влиянием температуры меняется механизм ингибирования конкурирующих грибов [Tronsmo, Dennis 1978]. Триходермы широко применяются в растениеводстве в качестве биопрепаратов, благотворно влияющих на растения. Есть данные о комбинированном применении триходерм с бактериями и проявлении синергетического эффекта в отношении биоконтроля болезней растений [Jambhulkar *et al*. 2018; Guzmán-Guzmán *et al*. 2024]. В нашем случае два штамма разных видов триходермы показали противоположный характер взаимодействия с азоспириллой. *T. viride* подавляла рост азоспириллы, в то время как *T. harzianum* таким свойством не обладала. Выявление отсутствия антагонизма бактерии и гриба может быть истолковано как перспектива для создания комбинированного препарата для растениеводства и биоремедиационных технологий [Cai *et al*. 2021; Khanpour-Alikelayeh, Partovinia 2021].

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Отчетливый антагонизм в отношении *A. brasilense* SR80 проявляли два штамма аскомицетов – *T. sayulitensis* IBPPM664 и *T. viride* IBPPM668.

A. brasilense SR80 тормозила рост *F. oxysporum* IBPPM543 *и T. sayulitensis* IBPPM664.

Различающиеся температурные оптимумы роста исследованных микроорганизмов способствовали как стимулирующему, так и ингибирующему взаимовлиянию.

Температура культивирования оказывала выраженный эффект на характер взаимодействия грибов и бактерий, регулируя рост обоих организмов.

Нефть оказывала стимулирующий эффект на рост большинства исследованных микроорганизмов, не изменяя характер их взаимодействий.

Проведенное исследование демонстрирует необходимость понимания влияния факторов окружающей среды на выживание и биологическую активность интродуцированных ризобактерий, имеющих большое значение для подавления болезней растений, а также еще и представляется актуальным для выявления перспективных сочетаний микроорганизмов для комплексных бактериально-грибных биопрепаратов.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (тема № 124020100146-9).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность д.б.н., профессору В.А. Тереховой (Институт проблем экологии и эволюции Российской академии наук) за предоставление штаммов *Trichoderma*.

Конфликт интересов (Conflicts of Interest)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Настоящая работа не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Звягинцев Д.Г. (**1999**) Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. Геос. Москва: 278.

Лабутова Н.М. (**2009**) Взаимоотношения эндомикоризных грибов с микроорганизмами ризосферы. *Микология и фитопатология*. **43**(1): 3-19. EDN: OIOWNN

Муратова А.Ю., Турковская О.В., Антонюк Л.П., Макаров О.Е., Позднякова Л.И., Игнатов В.В. (**2005**) Нефтеокисляющий потенциал ассоциативных ризобактерий рода *Azospirillum*. *Микробиология*. **74**(2): 248-254. EDN: HSBZKN

Муратова А.Ю., Панченко Л.В., Дубровская Е.В., Любунь Е.В., Голубев С.Н., Сунгурцева И.Ю., Захаревич А.М., Бикташева Л.Р., П. Ю. Галицкая П.Ю., Турковская О.В. (**2022**) Биоремедиационный потенциал иммобилизованных на биочаре бактерий *Azospirillum brasilense*. *Микробиология*. **91**(5): 554-564. https://doi.org/10.31857/S0026365622100263

Позднякова Л.И., Каневская С.В., Леванова Г.Ф., Барышева Н.Н., Пилипенко Т.Ю., Богатырев В.А., Федорова Л.С. (**1988**) Таксономическое изучение азоспирилл, выделенных из злаков Саратовской области. *Микробиология*. **57**(2): 275-278. EDN: WLFZEH

Поляк Ю.М., Сухаревич В.И. (**2019**) Аллелопатические взаимоотношения растений и микроорганизмов в почвенных экосистемах. *Успехи современной биологии*. **139**(2): 147-160. https://doi.org/10.1134/S0042132419020066

Свистова И.Д., Щербаков А.П., Фролова Л.О. (**2004**) Токсины микромицетов чернозема: спектр антибиотического действия и роль в формировании микробного сообщества. *Почвоведение*. **10**: 1220-1227. EDN: OWQXQX

Ali S., Zhang C., Wang Z., Wang X.M., Wu J.H., Cuthbertson A.G.S., Shao Z., Qiu B.L. (**2017**) Toxicological and biochemical basis of synergism between the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* and the insecticide matrine against *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Scientific reports.* **7**(1): 46558. https://doi.org/10.1038/srep46558.

Badri D.V., Weir T.L., van der Lelie D., Vivanco J.M. (**2009**) Rhizosphere chemical dialogues: plant–microbe interactions. *Current opinion in biotechnology*. **20**(6): 642-650. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.09.014

Bezalel L.A.E., Hadar Y., Cerniglia C.E. (**1997**) Enzymatic mechanisms involved in phenanthrene degradation by the white rot fungus *Pleurotus ostreatus*. *Applied environmental microbiology.* **63**(7): 2495-2501. https://doi.org/10.1128/aem.63.7.2495-2501.1997

Cai X., Zhao H., Liang C., Li M., Liu R. (**2021**) Effects and mechanisms of symbiotic microbial combination agents to control tomato *Fusarium* crown and root rot disease. *Frontiers in microbiology.* **12**: 629793. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.629793.

Cassán F., Coniglio A., López G. Molina R., Nievas S., de Carlan C.L.N., Donadio F., Torres D., Rosas S., Pedrosa F.O. *et al*. (**2020**) Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and fertility soils*. **56**(4): 461-479. https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y

Dethoup T., Kaewsalong N., Songkumorn P., Jantasorn A. (**2018**) Potential application of a marine-derived fungus, *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 against rice diseases. *Biological control*. **119**: 1-6. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.11.008

Dinolfo M.I., E. Castañares E., Stenglei S.A. (**2017**) *Fusarium*-plant interaction: state of the art - a review. *Plant protection science*. **53**(2): 61-70. https://doi.org/10.17221/182/2015-PPS

El-Debaiky S.A. (**2017**) New record of *Lecanicillium aphanocladii* family: Cordycipitaceae from Egypt. *Journal of bacteriology and mycology: Open access*. **5**(7): 00161. https://doi.org/10.15406/jbmoa.2017.05.00161.

Gordon T.R., Okamoto D., Jacobson D.J. (**1989**) Colonization of muskmelon and nonsusceptible crops by *Fusarium oxysporum* f. sp. melonis and other species of *Fusarium*. *Phytopathology.* **79**(10): 1095-1100.

Grondona I., Hermosa R., Tejada M., Gomis M.D., Mateos P.F., Bridge P.D., Monte E., Garcia-Acha I. (**1997**) Physiological and biochemical characterization of *Trichoderma harzianum*, a biological control agent against soilborne fungal plant pathogens. *Applied and environmental microbiology*. **63**(8): 3189-3198. https://doi.org/10.1128/aem.63.8.3189-3198.1997

Guzmán-Guzmán P., Valencia-Cantero E., Santoyo G. (**2024**) Plant growth-promoting bacteria potentiate antifungal and plant-beneficial responses of *Trichoderma atroviride* by upregulating its effector functions. *PLoS ONE*. **19**(3): e0301139. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301139

Jambhulkar P.P., Sharma P., Manokaran R., Lakshman D.K., Rokadia P., Jambhulkar N. (**2018**) Assessing synergism of combined applications of *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas fluorescens* to control blast and bacterial leaf blight of rice. *European journal of plant pathology*. **152**(3): 747-757. https://doi.org/10.1007/s10658-018-1519-3

Kalaiselvi S.S., Panneerselvam A. (**2011**) Invitro assessment of antagonistic activity of *Trichoderma* sp. against *Sarocladium oryzae* causing sheath rot disease in paddy. *International journal of applied biology and pharmaceutical technology*. **2**(1): 179-183.

Khanpour-Alikelayeh E., Partovinia A. (**2021**) Synergistic and antagonistic effects of microbial co-culture on bioremediation of polluted environments. *In*: *Panpatte D.G., Jhala Y.K. (eds) Microbial rejuvenation of polluted environment.* Microorganisms for Sustainability. Springer. Singapore: 229-265. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7455-9_10

Landa B.B., Navas-Cortés J.A., Jiménez-Díaz R.M. (**2004**) Influence of temperature on plant–rhizobacteria interactions related to biocontrol potential for suppression of *Fusarium* wilt of chickpea. *Plant pathology*. **53**(3): 341-352.

Lei L.R., Gong L.Q., Jin M.Y., Wang R., Liu R., Gao J., Liu M.D., Huand L., Wanf G.Z., Wang D. *et al.* (**2022**) Research advances in the structures and biological activities of secondary metabolites from *Talaromyces. Frontiers of microbiol*ogy **13**: 984801. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.984801

Lemanceau P., Bakker P.A.H.M., DeKogel W.J., Alabouvette C., Schippers B. (**1993**) Antagonistic effect of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and Pseudobactin 358 upon pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. dianthi. *Applied and environmental microbiol*ogy. **59**(1): 74-82. https://doi.org/10.1128/AEM.59.1.74-82.1993

Manfrino R.G., González A., Barneche J., Tornesello Galván J., Hywell-Jones N., López Lastra C.C. (**2017**) Contribution to the knowledge of pathogenic fungi of spiders in Argentina. Southernmost record in the world. *Revista Argentina de microbiología*. **49**(2): 197-200. https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.10.007

Muratova A.Y., Bondarenkova A.D., Panchenko L.V., Turkovskaya O.V. (**2010**) Use of integrated phytoremediation for cleaning-up of oil-sludge-contaminated soil. *Applied biochemistry and microbiology*. **46**(8): 789-794. https://doi.org/10.1134/S0003683810080090

Naraghi L., Heydari A., Rezaee S., Razavi M. (**2012**) Biocontrol agent *Talaromyces flavus* stimulates the growth of cotton and potato. *Journal plant growth regul*ation. **31**(4): 471-477. https://doi.org/10.1007/s00344-011-9256-2

Pelagio-Flores R., Ravelo-Ortega G., García-Pineda E., López-Bucio J. (**2025**) A century of *Azospirillum*: plant growth promotion and agricultural promise. *Plant signaling & behavior*. **20**(1). 2551609 https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2551609

Pozdnyakova N.N., Varese G.C., Prigione V., Dubrovskaya E.V., Balandina S.A., Turkovskaya O.V. (**2019**) Degradative properties of two newly isolated strains of the ascomycetes *Fusarium oxysporum* and *Lecanicillium aphanocladii*. *International microbiology*. **22**(1): 103-110. https://doi.org/10.1007/s10123-018-0032-z.

Rodriguez P.A., Rothballer M., Chowdhury S.P., Nussbaumer T., Gutjahr C., Falter-Braun P. (**2019**) Systems biology of plant-microbiome interactions. *Molecular plant*. **12**(6): 804-821. https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.05.006

Royse D.J., Ries S.M. (**1978**) The influence of fungi isolated from peach twigs on the pathogenicity of *Cytospora cincta*. *Phytopathology*. **68**(4): 603-607.

Tronsmo A., Dennis C. (**1978**) Effect of temperature on antagonistic properties of *Trichoderma* species. *Transactions of the british mycological society*. **71**(3): 469-474. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(78)80075-8.

Vázquez M.M., César S., Azcón R., Barea J.M. (**2000**) Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum, Pseudomonas, Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Applied soil* ecology. **15**(3): 261-272. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00075-5

Zhang X., Kong D., Liu X., Xie H., Lou X., Zeng C. (**2021**) Combined microbial degradation of crude oil under alkaline conditions by *Acinetobacter baumannii* and *Talaromyces* sp. *Chemosphere*. **273**: 129666. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129666

REFERENCES

Zvyagintsev D.G. (**1999**) The structural and functional role of soil in the biosphere. Geos. Moscow: 278. (In Rus.)

Labutova N.M. (**2009**) The relationship of endomycorrhizal fungi with microorganisms of the rhizosphere. *Mycology and phytopathology*. **43**(1): 3-19. EDN: OIOWNN (In Rus.)

Muratova A.Yu., Turkovskaya O.V., Antonyuk L.P., Makarov O.E., Pozdnyakova L.I., Ignatov V.V. (**2005**) The oil-oxidizing potential of associative rhizobacteria of the genus Azospirillum. *Microbiology*. **74**(2): 248-254. EDN: HSBZKN (In Rus.)

Muratova A.Y., Panchenko L.V., Dubrovskaya E.V., Lyubun E.V., Golubev S.N., Sungurtseva I.Y., Zakharevich A.M., Biktasheva L.R., P. Yu. Galitskaya P.Yu., Turkovskaya O.V. (**2022**) Bioremediation potential of Azospirillum brasilense bacteria immobilized on biochar. *Microbiology*. **91**(5): 554-564. https://doi.org/10.31857/S0026365622100263 (In Rus.)

Pozdnyakova L.I., Kanevskaya S.V., Levanova G.F., Barysheva N.N., Pilipenko T.Yu., Bogatyrev V.A., Fedorova L.S. (**1988**) Taxonomic study of azospirillas isolated from cereals of the Saratov region. *Microbiology*. **57**(2): 275-278. EDN: WLFZEH (In Rus.)

Polyak Y.M., Sukharevich V.I. (**2019**) Allelopathic relationships of plants and microorganisms in soil ecosystems. *The successes of modern biology*. **139**(2): 147-160. https://doi.org/10.1134/S0042132419020066 (In Rus.)

Svistova I.D., Shcherbakov A.P., Frolova L.O. (**2004**) Toxins of chernozem micromycetes: the spectrum of antibiotic action and their role in the formation of the microbial community. *Soil science*. **10**: 1220-1227. EDN: OWQXQX (In Rus.)

Ali S., Zhang C., Wang Z., Wang X.M., Wu J.H., Cuthbertson A.G.S., Shao Z., Qiu B.L. (**2017**) Toxicological and biochemical basis of synergism between the entomopathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* and the insecticide matrine against *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Scientific reports*. **7**(1): 46558. https://doi.org/10.1038/srep46558.

Badri D.V., Weir T.L., van der Lelie D., Vivanco J.M. (**2009**) Rhizosphere chemical dialogues: plant–microbe interactions. *Current opinion in biotechnology*. **20**(6): 642-650. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2009.09.014

Bezalel L.A.E., Hadar Y., Cerniglia C.E. (**1997**) Enzymatic mechanisms involved in phenanthrene degradation by the white rot fungus *Pleurotus ostreatus*. *Applied environmental microbiology*. **63**(7): 2495-2501. https://doi.org/10.1128/aem.63.7.2495-2501.1997

Cai X., Zhao H., Liang C., Li M., Liu R. (**2021**) Effects and mechanisms of symbiotic microbial combination agents to control tomato *Fusarium* crown and root rot disease. *Frontiers in microbiology*. **12**: 629793. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.629793.

Cassán F., Coniglio A., López G. Molina R., Nievas S., de Carlan C.L.N., Donadio F., Torres D., Rosas S., Pedrosa F.O. *et al*. (**2020**) Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and fertility soils*. **56**(4): 461-479. https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y

Dethoup T., Kaewsalong N., Songkumorn P., Jantasorn A. (**2018**) Potential application of a marine-derived fungus, *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 against rice diseases. *Biological control*. **119**: 1-6. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.11.008

Dinolfo M.I., E. Castañares E., Stenglei S.A. (**2017**) *Fusarium*-plant interaction: state of the art - a review. *Plant protection science*. **53**(2): 61-70. https://doi.org/10.17221/182/2015-PPS

El-Debaiky S.A. (**2017**) New record of *Lecanicillium aphanocladii* family: Cordycipitaceae from Egypt. *Journal of bacteriology and mycology: Open access*. **5**(7): 00161. https://doi.org/10.15406/jbmoa.2017.05.00161.

Gordon T.R., Okamoto D., Jacobson D.J. (**1989**) Colonization of muskmelon and nonsusceptible crops by *Fusarium oxysporum* f. sp. melonis and other species of *Fusarium*. *Phytopathology*. **79**(10): 1095-1100.

Grondona I., Hermosa R., Tejada M., Gomis M.D., Mateos P.F., Bridge P.D., Monte E., Garcia-Acha I. (**1997**) Physiological and biochemical characterization of *Trichoderma harzianum*, a biological control agent against soilborne fungal plant pathogens. *Applied and environmental microbiology*. **63**(8): 3189-3198. https://doi.org/10.1128/aem.63.8.3189-3198.1997

Guzmán-Guzmán P., Valencia-Cantero E., Santoyo G. (**2024**) Plant growth-promoting bacteria potentiate antifungal and plant-beneficial responses of *Trichoderma atroviride* by upregulating its effector functions. *PLoS ONE*. **19**(3): e0301139. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301139

Jambhulkar P.P., Sharma P., Manokaran R., Lakshman D.K., Rokadia P., Jambhulkar N. (**2018**) Assessing synergism of combined applications of *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas fluorescens* to control blast and bacterial leaf blight of rice. *European journal of plant pathology*. **152**(3): 747-757. https://doi.org/10.1007/s10658-018-1519-3

Kalaiselvi S.S., Panneerselvam A. (**2011**) Invitro assessment of antagonistic activity of *Trichoderma* sp. against *Sarocladium oryzae* causing sheath rot disease in paddy. *International journal of applied biology and pharmaceutical technology*. **2**(1): 179-183.

Khanpour-Alikelayeh E., Partovinia A. (**2021**) Synergistic and antagonistic effects of microbial co-culture on bioremediation of polluted environments. *In*: *Panpatte D.G., Jhala Y.K. (eds) Microbial rejuvenation of polluted environment*. Microorganisms for Sustainability. Springer. Singapore: 229-265. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7455-9_10

Landa B.B., Navas-Cortés J.A., Jiménez-Díaz R.M. (**2004**) Influence of temperature on plant–rhizobacteria interactions related to biocontrol potential for suppression of *Fusarium* wilt of chickpea. *Plant pathology*. **53**(3): 341-352.

Lei L.R., Gong L.Q., Jin M.Y., Wang R., Liu R., Gao J., Liu M.D., Huand L., Wanf G.Z., Wang D. *et al.* (**2022**) Research advances in the structures and biological activities of secondary metabolites from *Talaromyces. Frontiers of microbiol*ogy **13**: 984801. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.984801

Lemanceau P., Bakker P.A.H.M., DeKogel W.J., Alabouvette C., Schippers B. (**1993**) Antagonistic effect of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and Pseudobactin 358 upon pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. dianthi. *Applied and environmental microbiol*ogy. **59**(1): 74-82. https://doi.org/10.1128/AEM.59.1.74-82.1993

Manfrino R.G., González A., Barneche J., Tornesello Galván J., Hywell-Jones N., López Lastra C.C. (**2017**) Contribution to the knowledge of pathogenic fungi of spiders in Argentina. Southernmost record in the world. *Revista Argentina de microbiología*. **49**(2): 197-200. https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.10.007

Muratova A.Y., Bondarenkova A.D., Panchenko L.V., Turkovskaya O.V. (**2010**) Use of integrated phytoremediation for cleaning-up of oil-sludge-contaminated soil. *Applied biochemistry and microbiology*. **46**(8): 789-794. https://doi.org/10.1134/S0003683810080090

Naraghi L., Heydari A., Rezaee S., Razavi M. (**2012**) Biocontrol agent *Talaromyces flavus* stimulates the growth of cotton and potato. *Journal plant growth regul*ation. **31**(4): 471-477. https://doi.org/10.1007/s00344-011-9256-2

Pelagio-Flores R., Ravelo-Ortega G., García-Pineda E., López-Bucio J. (**2025**) A century of *Azospirillum*: plant growth promotion and agricultural promise. *Plant signaling & behavior*. **20**(1). 2551609 https://doi.org/10.1080/15592324.2025.2551609

Pozdnyakova N.N., Varese G.C., Prigione V., Dubrovskaya E.V., Balandina S.A., Turkovskaya O.V. (**2019**) Degradative properties of two newly isolated strains of the ascomycetes *Fusarium oxysporum* and *Lecanicillium aphanocladii*. *International microbiology*. **22**(1): 103-110. https://doi.org/10.1007/s10123-018-0032-z.

Rodriguez P.A., Rothballer M., Chowdhury S.P., Nussbaumer T., Gutjahr C., Falter-Braun P. (**2019**) Systems biology of plant-microbiome interactions. *Molecular plant*. **12**(6): 804-821. https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.05.006

Royse D.J., Ries S.M. (**1978**) The influence of fungi isolated from peach twigs on the pathogenicity of *Cytospora cincta*. *Phytopathology*. **68**(4): 603-607.

Tronsmo A., Dennis C. (**1978**) Effect of temperature on antagonistic properties of *Trichoderma* species. *Transactions of the british mycological society*. **71**(3): 469-474. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(78)80075-8.

Vázquez M.M., César S., Azcón R., Barea J.M. (**2000**) Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Applied soil ecology*. **15**(3): 261-272. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00075-5

Zhang X., Kong D., Liu X., Xie H., Lou X., Zeng C. (**2021**) Combined microbial degradation of crude oil under alkaline conditions by *Acinetobacter baumannii* and *Talaromyces* sp. *Chemosphere*. **273**: 129666. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129666

Цитировать как
Турковская О.В., Бондаренкова А.Д., Позднякова Н.Н., Муратова А.Ю. **(2025)** Влияние температуры и загрязнения нефтью на взаимодействия почвенных микромицетов и штамма PGPR. *Экобиотех*. 8(3): 400-414. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-28 EDN: ORGXXD

Cited as
Turkovskaya O.V., Bondarenkova A.D., Pozdnyakova N.N., Muratova A.Yu. (**2025**) Influence of temperature and oil pollution on interactions of soil micromycetes and PGPR strain. *Ecobiotech*. **8**(3): 400-414. DOI: 10.31163/2618-964X/2025-28 EDN: ORGXXD (*In Rus.*)

Сведения об авторе/ах

Ольга Викторовна Турковская, д.б.н., Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия. E-mail: turkovskaya_o@ibppm.ru SPIN-код: 4751-2086, AuthorID: 79946, ORCID: 0000-0003-4501-4046; Scopus Author ID: 6603954418, WoS Research ID: R-5793-2016.

Анастасия Дмитриевна Бондаренкова, к.б.н., Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия. E-mail: bondarenkova_a@ibppm.ru, SPIN-код: 7167-2994, AuthorID: 169796, ORCID: 0000-0002-7318-2592, Scopus Author ID: 26430490800.

Наталия Николаевна Позднякова, д.б.н., Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия. E-mail: pozdnyakova_n@ibppm.ru. SPIN-код: 7987-1377, AuthorID: 90486, ORCID: 0000-0002-0505-4628, Scopus Author ID: 6701662285, WoS Research ID: J-8604-2018.

Анна Юрьевна Муратова, д.б.н., Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия. E-mail: muratova_a@ibppm.ru, SPIN-код: 6418-9153, AuthorID: 94128, ORCID: 0000-0003-1927-918X, Scopus ID: 6601923461, WoS Research ID: O-8854-2015

Information About the Author(s)

Olga V. Turkovskaya, Doctor of Biological Sciences, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia. E-mail: turkovskaya_o@ibppm.ru, SPIN-код: 4751-2086, AuthorID: 79946, ORCID: 0000-0003-4501-4046; Scopus Author ID: 6603954418, WoS Research ID: R-5793-2016.

Anastasia D. Bondarenkova, Ph.D. in Biology, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia. E-mail: bondarenkova_a@ibppm.ru, SPIN-код: 7167-2994, AuthorID: 169796, ORCID: 0000-0002-7318-2592, Scopus Author ID: 26430490800.

Natalia N. Pozdnyakova, Doctor of Biological Sciences, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia. E-mail: pozdnyakova_n@ibppm.ru. SPIN-код: 7987-1377, AuthorID: 90486, ORCID: 0000-0002-0505-4628, Scopus Author ID: 6701662285, WoS Research ID: J-8604-2018.

Anna Yu. Muratova, Doctor of Biological Sciences, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia. E-mail: muratova_a@ibppm.ru, SPIN-код: 6418-9153, AuthorID: 94128, ORCID: 0000-0003-1927-918X, Scopus ID: 6601923461, WoS Research ID: O-8854-2015