

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY
AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016

EDN: NILFDX

УДК 631.847.2126:633.1:631.87



Научная статья

АССОЦИАТИВНАЯ
АЗОТФИКСАЦИЯ В РИЗОСФЕРЕ ЗЕРНОВЫХ
КУЛЬТУР ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН
БАКТЕРИЯМИ *ARTHROBACTER MYSORENS* 7
И *FLAVOBACTERIUM* SP.*Н.Н. Шулико, А.А. Киселёва, Е.В. Тукмачева, И.А. Корчагина,
Е.В. Кубасова, А.Ю. Тимохин, О.А. Юсова***Аннотация**

Общая слабая изученность в условиях Западной Сибири (Омская область), процесса азотфиксации и количественных данных его активности в агроэкосистемах не позволяют установить истинную роль микроорганизмов-азотфиксаторов в азотном балансе почв и питании растений, оценить долю биологического азота (за счет ассоциативной азотфиксации). Актуальность исследований заключается в биологической оценке приема инокуляции семян сельскохозяйственных культур биопрепаратами фунгицидно-стимулирующего действия российского производства (ВНИИСХМ, г. Пушкин). Исследования проводили с целью изучения влияния биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов на активность процесса азотфиксации в ризосфере зерновых культур, приживаемость интродуцированных бактерий, продуктивность культур в условиях южной лесостепной и подтаёжной зон Западной Сибири. Работу выполняли в полевых опытах на сортах яровой пшеницы омской селекции Омская 42, Омская 44, Тарская 12, Омский коралл, ячмене Омский 101, овсе Сибирский геркулес. Предпосевную бактеризацию семян осуществляли инокулянтном ди-

азотрофных бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7 и инокулянтом бактерий фунгицидно-стимулирующего действия рода *Flavobacterium sp.* L-30. Отбор проб ризосферы проводили в кущение (июнь), колошение (июль), налиव зерна (август). Активность процесса ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых существенно изменялась в зависимости от применения биопрепаратов, вида культуры и зоны их возделывания. В процессе выращивания зерновых культур на протяжении вегетационного периода при внесении бактерий *Flavobacterium sp.* и *Arthrobacter mysorens* 7 установлено усиление азотфиксирующей активности в ризосфере и активная приживаемость интродуцированных бактерий. На серой лесной почве, по всем культурам опыта, абсолютные размеры азотфиксации были ниже, чем на лугово-черноземной. В условиях южной лесостепной зоны наибольшим уровнем азотфиксирующей активности был в ризосфере сорта мягкой пшеницы сорта Омская 42 и твёрдой пшеницы Омский коралл, составляя 150,7-322,0 и 140,0-393,0 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7, 149,0-281,0 и 86,2-554,5 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при внесении *Flavobacterium sp.* соответственно. Параллельно наблюдали рост количества КОЕ интродуцированных бактерий в результате чего активизировался процесс азотфиксации. В подтаежной зоне Омской области наибольшие размеры ассоциативной азотфиксации обнаружены в ризосфере мягкой пшеницы сортов Омская 44 и Тарская 12, составляя 46,3-230,7 и 24,0-130,0 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7, 62,0-208,3 и 52,0-178,7 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при внесении *Flavobacterium sp.* соответственно. Одновременно с ростом размеров азотфиксации существенным было и число бактериальных клеток диазотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере этих сортов пшеницы, в течение вегетационного периода изменялось в пределах $1,28-5,23 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,28-7,45 \times 10^6$ КОЕ/г. Из зернофуражных культур выделился ячмень, активность процесса в ризосфере этой культуры составляла до 164,3 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при применении Флавобактерина. Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) положительная корреляционная связь процесса ассоциативной азотфиксации с урожайностью агрокультур, в зоне южной лесостепи $r=0,927$, $r=0,986$, $r=0,897$ (пшеница Омская 42, Омский коралл, овёс Сибирский геркулес), в зоне подтайги $r=0,998$, $r=0,991$, $r=0,916$, $r=0,990$ (пшеница Омская 42, Омская 44, ячмень Омский 101).

Ключевые слова: ассоциативная азотфиксация; инокуляция; рост растений; ризосферные бактерии; зерновые культуры; урожайность

Для цитирования. Шулико Н.Н., Киселёва А.А., Тукмачева Е.В., Корчагина И.А., Кубасова Е.В., Тимохин А.Ю., Юсова О.А. Ассоциативная азот-

фиксация в ризосфере зерновых культур при инокуляции стимулирующими рост растений бактериями *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium* sp. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 361-384. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016

Original article

ASSOCIATIVE NITROGEN FIXATION IN THE RHIZOSPHERE OF CEREALS DURING SEED INOCULATION BY BACTERIA *ARTHROBACTER MYSORENS* 7 AND *FLAVOBACTERIUM* SP.

*N.N. Shuliko, A.A. Kiselyova, E.V. Tukmacheva, I.A. Korchagina,
E.V. Kubasova, A.Yu. Timokhin, O.A. Yusova*

Abstract

The general lack of knowledge in the conditions of Western Siberia (Omsk region), the nitrogen fixation process and quantitative data on its activity in agroecosystems do not allow us to establish the true role of nitrogen fixing microorganisms in the nitrogen balance of soils and plant nutrition, to estimate the proportion of biological nitrogen (due to associative nitrogen fixation). The relevance of the research lies in the biological assessment of the reception of inoculation of agricultural seeds with biological preparations of fungicidal-stimulating action of Russian production (ARRIAM, Pushkin). The research were study the influence of biological products of associative diazotrophs on the activity of the associative nitrogen fixation process in the rhizosphere of cereals, the survivability of introduced bacteria, and crop productivity in the conditions of the southern forest-steppe and subtaiga of Western Siberia. The work was carried out in field experiments on varieties of Omsk breeding of spring wheat Omsk 42, Omsk 44, Tarskaya 12, Omsk Coral, barley Omsk 101, oats Siberian Hercules. Pre-sowing bacterization of seeds was carried out with an inoculant of diazotrophic bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7 and an inoculant of fungicidal-stimulating bacteria of the genus *Flavobacterium* sp. L-30. Rhizosphere sampling was led out in tillering (June), earing (July), grain filling (August).

The activity of the associative nitrogen fixation process in the rhizosphere of cereals varied significantly depending on the use of biological products, the type of crop and the zone of their cultivation. Under the cultivation of cereals during the growing seasons with the introduction of *Flavobacterium* sp. bacteria. and *Arthro-*

bacter mysorens 7, an increase in nitrogen-fixing activity in the rhizosphere and dynamic survivability of introduced bacteria were found. On gray forest soil, for all crops of the experiment, the absolute sizes of nitrogen fixation were lower than on meadow-chernozem soil. In the conditions of the southern forest-steppe zone, the highest level of nitrogen-fixing activity was in the rhizosphere of soft wheat variety Omsk 42 and durum wheat Omsk Coral variety, amounting to 150.7-322.0 and 140.0-393.0 nM C₂H₂/100 g of soil with the introduction of bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7, 149.0-281.0 and 86.2-554.5 nM C₂H₂/100 g of soil with introduction of *Flavobacterium* sp. accordingly. In parallel, an increase in the number of CFU introduced bacteria was observed, as a result of which the nitrogen fixation process was activated. In the subtaiga zone of the Omsk region, the largest sizes of associative nitrogen fixation were found in the rhizosphere of soft wheat varieties Omsk 44 and Tarskaya 12, amounting to 46.3-230.7 and 24.0-130.0 nM C₂H₂/100 g of soil with the introduction of bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7, 62.0-208.3 and 52.0-178.7 nM C₂H₂/100 g of soil with the introduction of *Flavobacterium* sp. accordingly. Simultaneously with the increase in the size of nitrogen fixation, the number of bacterial cells of diazotrophs of the genus *Arthrobacter mysorens* 7 in the rhizosphere of these wheat varieties was also significant, during the growing season it varied between $1.28-5.23 \times 10^6$ CFU/g and $0.28-7.45 \times 10^6$ CFU/g. Barley was isolated from grain crops, the activity of the process in the rhizosphere of this crop was up to 164.3 nM C₂H₂/100 g of soil when *Flavobacterium* was used. A statistically significant ($p < 0.05$) positive correlation between the process of associative nitrogen fixation and the yield of agricultural crops was revealed, in the southern forest-steppe zone $r=0.927$, $r=0.986$, $r=0.897$ (Omsk wheat 42, Omsk Coral, Siberian oats Hercules), in the subtaiga zone $r=0.998$, $r=0.991$, $r=0.916$, $r=0.990$ (Omsk wheat 42, Omsk 44, Omsk barley 101).

Keywords: associative nitrogen fixation; inoculation; plant growth; rhizospheric bacteria; cereals; yield

For citation. Shuliko N.N., Kiselyova A.A., Tukmacheva E.V., Korchagina I.A., Kubasova E.V., Timokhin A. Yu., Yusova O.A. Associative Nitrogen Fixation in the Rhizosphere of Cereals During Seed Inoculation by Bacteria *Arthrobacter mysorens* 7 and *Flavobacterium* Sp. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 361-384. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016

Введение

Азот является важным элементом в развитии растений и ограничивающим фактором их роста. Он составляет около 2% от общего количества сухого вещества растений, поступающего в пищевую цепь. Тем не менее,

растения не могут напрямую получать доступ к молекулярному азоту, который составляет около 80% атмосферы. Растения поглощают доступный азот из почвы через корни в виде аммония и нитратов [19; 20].

Основным путём снабжения небобовых растений биологическим азотом признается ассоциативная азотфиксация. Факторами, определяющими ее эффективность, является применение биологических препаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов, обладающих повышенной способностью к ассоциации с культурными растениями и интенсивной азотфиксацией [10; 11; 14]. Микробная азотфиксация играет ключевую роль в балансе азота в биосфере и по своей значимости для живой природы сравнима только с другим глобальным процессом – фотосинтезом [15]. Активизация азотфиксации может происходить как при бактериализации семян, так при синтезе физиологически активных веществ [4].

Фиксация азота и выработка фитогормонов этими микроорганизмами считаются наиболее важными элементами стимулирования роста растений. Интенсивность стимулирования культур, особенно зерновых, включая перенос фиксированного азота от бактерий к растению, зависит от эффективного взаимодействия генотипа растения, вида бактерий и типа почв [1; 2; 22].

Небобовые растения образуют расширенную нишу для различных видов азотфиксирующих бактерий. Эти бактерии развиваются внутри растения, успешно колонизируя корни, стебли и листья. Во время ассоциации бактерии приносят пользу хозяину, заметно увеличивая рост растения, силу и урожайность. В этом отношении богатство азотфиксирующей флоры небобовых растений и степень их взаимодействия с хозяином определённо вселяют надежду на разработку экологически чистой альтернативы азотным удобрениям [18]. Внесение в почву (с семенами) активных штаммов ризосферных микроорганизмов, в большинстве случаев обеспечивает существенный рост интенсивности связывания атмосферного азота в злаковых агроценозах [17].

Интродукция ризосферных бактерий *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium sp.* стимулирует рост растений вследствие подавления фитопатогенных микроорганизмов, увеличения доступности в почве и поглощения растениями питательных элементов и активизации микробиологической азотфиксации в ризосфере [16; 21].

Вопросы эффективности внесения этих бактерий в ризосферу зерновых, их воздействие на активность процесса ассоциативной азотфиксации, приживаемость, а также урожайность возделываемых растений, в том числе на разных почвах, в условиях Западной Сибири изучены недостаточно.

Целью исследований было изучить влияние применения средств биологического земледелия (бактериальные препараты комплексного действия) на активизацию процесса азотфиксации ассоциативными diaзотрофами, приживаемость в ризосфере интродуцированных бактерий и продуктивность культур в условиях Омской области.

Материалы и методы

В полевом опыте в двух зонах Омской области (южная лесостепь и подтайга) было исследовано влияние биопрепаратов Мизорин и Флавобактерин, (производство ВНИСХМ, г. Санкт-Петербург, Пушкин) на активность процесса азотфиксации ризосферы новых сортов сельскохозяйственных культур омской селекции.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: агрокультура (*фактор А*) – пшеница сорт Омская 42, Омская 44, Тарская 12, Омский коралл, овёс сорт Сибирский геркулес, ячмень сорт Омский 101; бактериальный препарат для инокуляции семян (*фактор В*) – без препарата, Мизорин, Флавобактерин. Согласно схеме исследований применялась лишь предпосевная инокуляция семян препаратами комплексного действия.

Инокуляцию семян проводили в день посева, рекомендованной дозой. Площадь одной делянки – 13,5 м² (15х0,9), предшественник – пар. Повторность вариантов 4-х кратная. Площадь под опытом – 942 м². Отбор проб почвы ризосферы проводили в фазы развития растений: *кущение* (июнь), *колошение* (июль), *налив зерна* (август). Предшественник – чистый пар. Посев культур выполнен в оптимальные сроки с проведением комплекса весенне-полевых работ рекомендованной нормой высева, сортами, включёнными в Государственный реестр селекционных достижений с допуском по 10 региону.

Почва опытного участка № 1 – лугово-черноземная среднесиловая среднегумусная тяжелосуглинистая с содержанием в пахотном (0-20 см) слое гумуса – 6,5%, общего азота – 0,32%, рН водн – 6,5. Содержание нитратного азота в почве до 10 мг/кг в слое 0-20 см (очень низкое), подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 120 и 297 мг/кг (высокое и очень высокое).

Почва опытного участка № 2 – серая лесная оподзоленная среднесиловая суглинистая. Мощность пахотного горизонта 18-20 см с содержанием гумуса 2,5-3,0%. Содержание подвижного фосфора в пахотном горизонте среднее – 120 мг/кг почвы и обменного калия - низкое – 75 мг/кг почвы.

Реакция почвенного раствора слабокислая (рН солевое 5,9-6,0). Исследования проводились на базе краткосрочных опытов.

Азотфиксирующую активность ризосферы определяли при помощи ацетиленового метода по восстановлению ацетилена в этилен методом газовой хроматографии на хроматографе системы Кристалл - 5000 [13].

Общую численность *Flavobacterium sp.* и *Arthrobacter mysorens* 7 учитывали на агаре Федорова-Калининской (основная среда для культивирования ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов (ассоциативных диазотрофов) почвы) [9].

Математическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики [3] (среднее арифметическое, стандартное отклонение) с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2007.

Вегетационный период 2023 года в условиях южной лесостепной зоны был засушливым, это обусловлено повышенной температурой воздуха 17,8°C, что выше нормы на 1°C при сильном дефиците осадков 178 мм или 86% от среднегодовалой при ГТК 0,80. Экстремально жарким был июль при температуре воздуха 22,6°C с превышением нормы на 3,2°C. В подтаежной зоне вегетационный период в целом был влажным и тёплым, осадков выпало 115% от среднегодовалых данных. Среднесуточная температура воздуха за период май – сентябрь составила 15,5°C, что на 1,6°C выше нормы, ГТК 1,34.

Существует мнение, что инокуляция семян корневыми диазотрофами повышает адаптационные свойства сельскохозяйственных культур к засухе и экстремальным температурам [8]. Ввиду того, что опыты заложены в контрастных по метеоусловиям зонах, мы провели исследования по влиянию предпосевной бактериализации семян на активность процессов азотфиксации и приживаемость интродуцированных бактерий в ризосфере в динамике развития растений (3 раза в течение вегетации) для получения более объективных данных. Таким образом, представляется возможным определить насколько инокуляция повышает адаптационные возможности сельскохозяйственных растений и интенсивность протекающих в прикорневой зоне процессов.

Результаты исследования и обсуждение

В полевых опытах при выращивании зерновых культур на лугово-черноземной почве при внесении бактерий *Flavobacterium sp.* и *Arthrobacter mysorens* 7 установлено усиление азотфиксирующей активности в ризосфере и активная приживаемость интродуцированных бактерий. На серой

лесной почве, по всем культурам опыта, абсолютные размеры азотфиксации были ниже, чем на лугово-черноземной. Влияние предпосевной инокуляции семян было неоднозначным.

На лугово-черноземной почве процесс азотфиксации параллельно с приживаемостью бактерий усиливался и достигал максимума к периоду налива зерна. Уровень азотфиксирующей активности в процессе роста инокулированных растений пшеницы сорта Омская 42 был на 123 и 122% выше контроля в период кущения, на 87 и 63% в период налива зерна (таблица 1). Стоит отметить рост абсолютных значений активности ассоциативной азотфиксации от фазы кущения до налива зерна, что свидетельствует о хорошей приживаемости интродуцированных бактерий.

Таблица 1.

Активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых при применении бактеризации семян и численность интродуцированных бактерий, южная лесостепь (*Flavobacterium sp.*, *Arthrobacter mysorens* 7), (n=3, m ± SD)

Вариант	Фазы развития			
	кущение	колошение	налив зерна	
Пшеница мягкая Омская 42	Активность азотфиксации, нМ С ₂ Н ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	67,3 ± 10,3	134,3 ± 13,4	172,0 ± 4,0
	Мизорин	150,7 ± 13,3	237,0 ± 15,9	322,0 ± 39,1
	Флавобактерин	149,0 ± 30,4	269,0 ± 48,5	281,0 ± 22,6
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	1,98 ± 0,20	2,33 ± 0,24	2,15 ± 0,10
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,00 ± 0,13	1,76 ± 0,13	1,38 ± 0,22
Пшеница мягкая Тарская 12	Активность азотфиксации, нМ С ₂ Н ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	114,3 ± 7,7	160,0 ± 14,4	120,3 ± 7,7
	Мизорин	79,8 ± 2,0	166,0 ± 5,1	142,7 ± 11,7
	Флавобактерин	154,3 ± 12,2	189,3 ± 16,3	180,7 ± 34,9
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	1,04 ± 0,13	2,52 ± 0,36	1,78 ± 0,43
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,33 ± 0,14	2,58 ± 0,27	1,95 ± 0,36
Пшеница мягкая Омская 44	Активность азотфиксации, нМ С ₂ Н ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	124,7 ± 15,8	138,7 ± 11,1	192,0 ± 33,2
	Мизорин	131,7 ± 17,2	188,3 ± 6,2	278,0 ± 37,3
	Флавобактерин	184,0 ± 15,6	189,5 ± 35,0	269,7 ± 12,6
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	0,86 ± 0,11	1,38 ± 0,21	1,12 ± 0,15
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	0,90 ± 0,09	2,60 ± 0,26	1,75 ± 0,49

Пшеница твердая Омский коралл	Активность азотфиксации, нМ С ₂ Н ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	133,7 ± 12,8	136,3 ± 12,2	375,4 ± 25,3
	Мизорин	217,6 ± 23,4	140,0 ± 14,6	393,2 ± 31,7
	Флавобактерин	181,0 ± 28,9	86,2 ± 12,1	554,5 ± 112,1
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	0,45 ± 0,05	2,5 ± 0,25	1,48 ± 0,59
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	0,82 ± 0,11	1,76 ± 0,23	1,29 ± 0,27
Ячмень Омский 101	Активность азотфиксации, нМ С ₂ Н ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	59,7 ± 4,8	120,3 ± 7,7	307,0 ± 40,9
	Мизорин	44,1 ± 11,2	123,3 ± 23,1	310,4 ± 36,2
	Флавобактерин	55,0 ± 16,0	206,7 ± 25,2	424,5 ± 24,3
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	1,4 ± 0,14	1,6 ± 0,10	1,6 ± 0,21
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	0,74 ± 0,12	1,78 ± 0,27	1,26 ± 0,30
Овес Сибирский гер- кулес	Активность азотфиксации, нМ С ₂ Н ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	35,3 ± 3,9	57,6 ± 6,6	404,0 ± 15,5
	Мизорин	137,4 ± 9,9	140,8 ± 19,0	509,7 ± 32,8
	Флавобактерин	28,0 ± 1,5	69,5 ± 0,41	446,4 ± 13,6
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	2,15 ± 0,22	1,83 ± 0,19	1,99 ± 0,09
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,58 ± 0,30	2,10 ± 0,27	1,84 ± 0,15

Примечание: *Arthrobacter mysorens* 7 - действующее начало биопрепарата Мизорин, *Flavobacterium sp.* - действующее начало биопрепарата Флавобактерин; m ± SD – средняя ± ошибка средней.

Численность бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере пшеницы в течение этого периода времени изменялась от 1,98 до 2,15 × 10⁶ КОЕ/г абс. сух. почвы, *Flavobacterium sp.* от 1,00 до 1,38 × 10⁶ КОЕ/г абс. сух. почвы.

В опыте на серой лесной почве активность азотфиксации возрастала по мере роста растений и достигала максимума в конце вегетации культуры (таблица 2). Инокуляция пшеницы (сорт Омская 42) азотфиксирующими бактериями, являющимися действующим началом биопрепаратов Мизорин и Флавобактерин, усилила активность азотфиксации в ризосфере на 75 и 137% в фазу кущения, нарастая к фазе налива зерна (увеличение к контролю составило 57 и 84% соответственно). Количество клеток *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium sp.* в ризосфере этой культуры на протяжении опыта изменялось в пределах 2,09-1,23 × 10⁶ КОЕ/г и 1,84 и 0,82 × 10⁶ КОЕ/г.

Таблица 2.

Активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых при применении бактеризации семян и численность интродуцированных бактерий, подтайга (*Flavobacterium sp.*, *Arthrobacter mysoarens* 7), (n=3, m ± SD)

Вариант	Фазы развития			
	кущение	колошение	налив зерна	
Пшеница мягкая Омская 42	<i>Активность азотфиксации, нМ С₂Н₄ / 100 г почвы</i>			
	Контроль (без инокуляции)	32,5 ± 3,67	69,3 ± 8,41	95,7 ± 2,67
	Мизорин	56,7 ± 3,76	70,0 ± 6,43	147,3 ± 9,40
	Флавобактерин	76,7 ± 5,55	79,7 ± 6,64	175,0 ± 35,44
	<i>Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10⁶</i>			
	<i>Arthrobacter mysoarens 7*</i>	2,09 ± 0,21	2,95 ± 0,05	1,23 ± 0,13
	<i>Flavobacterium sp. *</i>	1,84 ± 0,20	2,86 ± 0,38	0,82 ± 0,11
Пшеница мягкая Тарская 12	<i>Активность азотфиксации, нМ С₂Н₄ / 100 г почвы</i>			
	Контроль (без инокуляции)	49,5 ± 10,21	61,7 ± 2,03	101,7 ± 20,67
	Мизорин	70,3 ± 15,39	121,7 ± 6,01	166,3 ± 15,34
	Флавобактерин	52,0 ± 7,00	147,3 ± 9,33	178,7 ± 30,47
	<i>Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10⁶</i>			
	<i>Arthrobacter mysoarens 7*</i>	3,25 ± 0,33	5,23 ± 0,53	1,28 ± 0,14
	<i>Flavobacterium sp. *</i>	2,75 ± 0,35	4,12 ± 0,57	1,38 ± 0,18
Пшеница мягкая Омская 44	<i>Активность азотфиксации, нМ С₂Н₄ / 100 г почвы</i>			
	Контроль (без инокуляции)	36,5 ± 14,46	91,7 ± 3,28	141,3 ± 2,40
	Мизорин	46,3 ± 3,28	113,0 ± 4,73	230,7 ± 11,57
	Флавобактерин	62,0 ± 6,43	141,0 ± 6,35	208,3 ± 18,50
	<i>Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10⁶</i>			
	<i>Arthrobacter mysoarens 7*</i>	3,86 ± 0,47	7,45 ± 0,75	0,28 ± 0,03
	<i>Flavobacterium sp. *</i>	1,08 ± 0,14	1,38 ± 0,19	0,78 ± 0,10
Пшеница твердая Омский коралл	<i>Активность азотфиксации, нМ С₂Н₄ / 100 г почвы</i>			
	Контроль (без инокуляции)	33,0 ± 5,15	68,7 ± 10,40	97,7 ± 44,19
	Мизорин	24,0 ± 8,33	62,7 ± 8,19	130,0 ± 18,93
	Флавобактерин	33,7 ± 4,10	69,0 ± 3,61	132,7 ± 16,29
	<i>Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10⁶</i>			
	<i>Arthrobacter mysoarens 7*</i>	1,28 ± 0,13	1,73 ± 0,17	0,83 ± 0,14
	<i>Flavobacterium sp. *</i>	0,94 ± 0,12	1,28 ± 0,17	0,60 ± 0,09

Ячмень Омский 101	<i>Активность азотфиксации, нМ С₂H₄ / 100 г почвы</i>			
	Контроль (без инокуляции)	47,8 ± 4,85	78,3 ± 11,61	91,7 ± 35,67
	Мизорин	42,0 ± 7,64	73,0 ± 10,12	86,3 ± 13,12
	Флавобактерин	45,7 ± 9,70	117,8 ± 6,77	164,3 ± 14,34
	<i>Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10⁶</i>			
	<i>Arthrobacter mysorens 7*</i>	0,95 ± 0,10	0,76 ± 0,14	0,58 ± 0,07
	<i>Flavobacterium sp.*</i>	1,19 ± 0,15	1,56 ± 0,20	0,82 ± 0,2
Овес геркулес Сибирский	<i>Активность азотфиксации, нМ С₂H₄ / 100 г почвы</i>			
	Контроль (без инокуляции)	51,3 ± 7,69	24,3 ± 2,33	43,0 ± 8,98
	Мизорин	72,7 ± 2,60	38,3 ± 4,41	48,0 ± 16,33
	Флавобактерин	78,7 ± 2,73	43,7 ± 7,84	42,0 ± 15,04
	<i>Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10⁶</i>			
	<i>Arthrobacter mysorens 7*</i>	1,65 ± 0,18	2,38 ± 0,24	0,93 ± 0,10
	<i>Flavobacterium sp.*</i>	1,85 ± 0,19	1,24 ± 0,16	0,46 ± 0,06

Примечание: *Arthrobacter mysorens 7* - действующее начало биопрепарата Мизорин, *Flavobacterium sp.* - действующее начало биопрепарата Флавобактерин; m ± SD – средняя ± ошибка средних.

В процессе роста пшеницы мягкой сорта Тарская 12 и Омская 44 на лугово-черноземной почве, наблюдали усиление активности азотфиксации в ризосфере при внесении диазотрофных бактерий. Азотфиксирующая активность в ризосфере инокулированных растений сорта Тарская 12 была наибольшей при применении Флавобактерина, увеличиваясь, в зависимости от фазы, на 35-50% относительно контроля. Применение Мизорина приводило к снижению процесса в фазу кущения, можно предположить конкуренцию внесённых микроорганизмов с аборигенной микрофлорой, в дальнейшем по мере развития культуры, азотфиксирующая способность несущественно возрастала по отношению к контролю.

На активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере пшеницы Омская 44 также наибольшее положительное воздействие оказала интродукция в почву бактерий рода *Flavobacterium sp.*, усиление процесса составило от 37 до 48% к контролю, влияние *Arthrobacter mysorens 7* было также стимулирующим, рост составил от 10 до 45%. Численность бактерий рода *Flavobacterium sp.* в ризосфере пшеницы Тарская 12 и Омская 44 находилась на уровне $1,33-2,58 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,90-2,60 \times 10^6$ КОЕ/г, что выше, чем количество *Arthrobacter mysorens 7*, это приводило, как упоминалось ранее, к превалирующему воздействию на процесс азотфиксации биопрепарата Флавобактерин.

На серой лесной почве на сортах Тарская 12 и Омская 44 выявлено исключительно стимулирующее воздействие агроприема на активность ассо-

циативной азотфиксации в ризосфере. Положительное влияние, также как и на лугово-черноземной почве, оказали бактерии рода *Flavobacterium sp.*, максимальные размеры фиксированного азота составили до 178,7 и 208 нМ $C_2H_4/100$ г почвы при уровне на контроле 101,7 и 141,3 нМ $C_2H_4/100$ г соответственно. Применение Мизорина на серой лесной почве повышало активность азотфиксации на 43-64% (сорт Тарская 12) и 25-77% (сорт Омская 44). Параллельно с ростом размеров азотфиксации существенным было и число бактериальных клеток диазотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере этих сортов пшеницы, в течение вегетационного периода изменялось в пределах $1,28-5,23 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,28-7,45 \times 10^6$ КОЕ/г, рода *Flavobacterium sp.* в пределах $1,38-4,12 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,78-1,38$.

Положительное влияние бактерий *Arthrobacter mysorens* и *Flavobacterium sp.* на активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере мягкой пшеницы подтверждено колонизацией ими корневой системы. Обнаружение азотфиксирующей активности в ризосфере зерновых культур при инокуляции фиксирующими атмосферный азот бактериями подтверждает, что происходит образование ассоциаций внесенных бактерий с аборигенными диазотрофными бактериями, также обладающими способностью к фиксации азота воздуха [12]. Усиление азотфиксирующей активности в ризосфере при внесении бактерий *Arthrobacter mysorens* и *Flavobacterium sp.* может быть связано с увеличением доступности в почве химических элементов, участвующих в микробиологической фиксации молекулярного азота [7].

В ризосфере твёрдой пшеницы сорта Омский коралл выявлено неоднозначное влияние приема инокуляции на активность процесса фиксации азота воздуха. В условиях южной лесостепи в фазу колошения при применении Флавобактерина наблюдали снижение активности азотфиксации на 37% к контролю. На серой лесной почве применение исследуемых биопрепаратов приводило к снижению активности азотфиксации в фазы кущение и колошение, на 38 и 10% соответственно. Известно, что эффективность применяемых препаратов во многом определяется взаимодействием с коренными обитателями почвы. При инокуляции в почву попадают микроорганизмы, способные оказывать определённое воздействие (в том числе и негативное) на аборигенную микрофлору и вмешиваться в ход микробных сукцессий с нарушением определённого равновесного сообщества [6]. Применение Мизорина на лугово-черноземной почве увеличивало размеры ассоциативной азотфиксации от 3 до 65% к контролю. Число клеток *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium sp.* в ризосфере культуры в течение вегетации варьировало в пределах $0,45-2,5 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,82$ и $1,76 \times 10^6$ КОЕ/г.

В ризосфере зернофуражных культур как на лугово-черноземной, так и на серой лесной почве наблюдали разностороннее воздействие агроприема.

На лугово-черноземной почве внесение бактерий рода *Flavobacterium sp.* приводило к снижению активности азотфиксации на 7% на ячмене, на 20% на овсе. В фазу колошения отмечена стимуляция процесса азотфиксации на 27 и 21%, в динамике к фазе налива зерна абсолютные значения процесса возрастали, различия с контролем составляли 38 и 10% соответственно. Бактерии рода *Arthrobacter mysorens* оказывали существенное положительное воздействие на протекание процесса в фазу кущения на овсе (+291% контролю), в динамике происходил рост азотфиксирующей активности. На ячмене бактерии этого рода оказали ингибирующее воздействие в кущение, а в последующие фазы развития растений их влияния отмечено не было. Количество бактериальных клеток *Flavobacterium sp.* в ризосфере ячменя и овса в течение вегетационного периода возрастало от 0,74 до $1,26 \times 10^6$ КОЕ/г и от 1,58 до $1,84 \times 10^6$ КОЕ/г, чем, видимо, обусловлен рост абсолютных значений активности азотфиксации. Число бактерий рода *Arthrobacter mysorens* в течение роста ячменя практически не изменялось, составляя $1,4-1,6 \times 10^6$ КОЕ/г. На ячмене прослеживалась иная тенденция, численность бактерии вышеупомянутого рода составляла от 1,83 до $2,15 \times 10^6$ КОЕ/г в зависимости от фазы развития культуры.

На серой лесной почве в ризосфере ячменя при применении Мизорина происходило несущественное снижение активности азотфиксации в течение вегетации, что может быть обусловлено специфичными корневыми выделениями ячменя, влияющими на приживаемость интродуцированных бактерий. Применение Флавобактерина напротив, стимулировало активность процесса до 78% к контролю. В ризосфере овса сорта Сибирский геркулес наблюдали стабильно положительное воздействие бактериализации семян на процесс азотфиксации, увеличение составило до 58% при обработке Мизорином, до 79 – Флавобактерином. Наряду с ростом размеров азотфиксации (фазы кущение-колошение) в ризосфере овса существенным было и число бактериальных клеток диазотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7, в пределах $1,65-2,38 \times 10^6$ КОЕ/г, рода *Flavobacterium sp.* в пределах $1,24-1,85 \times 10^6$ КОЕ/г. В ризосфере ячменя количество *Arthrobacter mysorens* 7 было ниже, чем на ячмене, варьировало от 0,58 до 0,95, число *Flavobacterium sp.* составляло $0,82-1,56 \times 10^6$ КОЕ/г.

Применение биопрепаратов ассоциативных азотфиксаторов для инокуляции семян пшеницы, а также зернофуражных культур оказало по одним сортам положительное влияние на урожайность зерна, а по другим – снизило их продуктивность.

Таким образом, подтвердилось мнение, что для установления эффективных ассоциативных взаимоотношений между растениями и микроорганизмами необходим тщательный отбор соответствующего штамма не только к культуре, но и к сорту [5]. Возможно, что для установления максимального эффекта от применения ассоциативных штаммов бактерий требовалось небольшое количество минерального азота удобрений для стимуляции ростовых процессов растений.

Установлено, что из зернофуражных культур ячмень был в наибольшей степени отзывчив на применение биопрепаратов. Так применение Мизорина обеспечило прибавку зерна 0,69 т/га в южной лесостепной зоне, в подтайге 0,42 т/га по отношению контролю (таблица 3). Обработка семян пшеницы Флавобактерином позволила получить прибавку зерна 0,42 т/га в южной лесостепи, в подтаежной зоне 0,27 т/га.

Таблица 3.

Урожайность агрокультур в зависимости от применения биопрепаратов, (южная лесостепь, г. Омск; n=4, m ± SD)

Варианты		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю, т/га
Пшеница мягкая Омская 42	Контроль	1,70 ± 0,26	-
	Мизорин	2,11 ± 0,51	0,41
	Флавобактерин	2,34 ± 0,71	0,64
Пшеница мягкая Тарская 12	Контроль	3,69 ± 0,14	-
	Мизорин	3,74 ± 0,21	0,06
	Флавобактерин	3,65 ± 0,20	-0,04
Пшеница мягкая Омская 44	Контроль	2,67 ± 0,39	-
	Мизорин	2,69 ± 0,42	0,02
	Флавобактерин	2,56 ± 0,44	-0,11
Пшеница твердая Омский коралл	Контроль	1,09 ± 0,43	-
	Мизорин	1,14 ± 0,37	0,05
	Флавобактерин	1,19 ± 0,43	0,10
Ячмень Омский 101	Контроль	5,03 ± 0,48	-
	Мизорин	5,72 ± 0,60	0,69
	Флавобактерин	5,45 ± 0,38	0,42
Овес Сибирский геркулес	Контроль	4,34 ± 0,79	-
	Мизорин	4,53 ± 0,95	0,18
	Флавобактерин	4,26 ± 0,80	-0,08

$HCP_{05} A=0,44$; $HCP_{05} B=0,31$; $HCP_{05} AB=0,77$

Примечание: $HCP_{05} A$ – агрокультура; $HCP_{05} B$ – применение биопрепаратов, $HCP_{05} AB$ – взаимодействие факторов агрокультура x биопрепарат; n - количество определений; m ± SD – средняя ± ошибка средней.

В зоне южной лесостепи положительный эффект от инокуляции семян Мизорином был получен у пшеницы сорта Омская 42 (+0,41 т/га к контролю). В подтайге отзывчивыми на бактеризацию данным препаратом были все сорта пшеницы, но в большей степени Тарская 12 (+0,55 т/га к контролю) (таблица 4). Предпосевная обработка семян Флавобактерином увеличивала урожайность пшеницы сорта Омская 42 в южной лесостепи на 0,64 т/га, отрицательной на инокуляцию вышеупомянутым биопрепаратом по урожайности зерна была реакция сортов Тарская 12 и Омская 44 (снижение в пределах ошибки опыта) (таблицы 3, 4). В подтаежной зоне не установлено отрицательного воздействия Флавобактерина на продуктивность пшеницы, отмечено увеличение урожайности зерна на 0,14-0,73 т/га. Стоит отметить наибольшую отзывчивость на агроприем районированного сорта Тарская 12, где дополнительно к контролю получено 0,73 т/га зерна.

Таблица 4.

Урожайность агрокультур в зависимости от применения препаратов различного происхождения, (подтайга, г. Тара; n=4, m ± SD)

Варианты		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю, т/га
Пшеница мягкая Омская 42	Контроль	2,96 ± 0,02	-
	Мизорин	3,21 ± 0,07	0,25
	Флавобактерин	3,44 ± 0,06	0,48
Пшеница мягкая Тарская 12	Контроль	2,88 ± 0,28	-
	Мизорин	3,43 ± 0,21	0,55
	Флавобактерин	3,61 ± 0,21	0,73
Пшеница мягкая Омская 44	Контроль	2,88 ± 0,21	-
	Мизорин	2,90 ± 0,37	0,02
	Флавобактерин	3,12 ± 0,22	0,24
Пшеница твёрдая Омский коралл	Контроль	2,56 ± 0,32	-
	Мизорин	2,68 ± 0,28	0,12
	Флавобактерин	2,70 ± 0,55	0,14
Ячмень Омский 101	Контроль	1,94 ± 0,13	-
	Мизорин	2,36 ± 0,30	0,42
	Флавобактерин	2,21 ± 0,26	0,27
Овес Сибирский геркулес	Контроль	2,71 ± 0,44	-
	Мизорин	2,86 ± 0,23	0,15
	Флавобактерин	2,91 ± 0,25	0,20

$HCP_{05} A=0,36$; $HCP_{05} B=0,21$; $HCP_{05} AB=0,65$

Корреляционный анализ зависимости урожайности зерна пшеницы сорта Омская 42, Омский коралл, ячменя Омский 101 от азотфиксирующей активности ризосферы (зона южной лесостепи) показал, что между этими показателями наблюдается статистически значимая ($p < 0,05$) положительная $r = 0,927$, $r = 0,986$, $r = 0,897$ связь. Математическая обработка данных показала наличие сильной корреляционной зависимости между активностью азотфиксации (зона подтайги) и урожайностью пшеницы сортов Омская 42, Тарская 12, Омский коралл, ячменя сорта Омский 101, составляя ($p < 0,05$) $r = 0,998$, $r = 0,991$, $r = 0,916$, $r = 0,990$ соответственно.

Заключение

Внесённые бактерии колонизировали корневую систему растений и усиливали азотфиксирующую активность в ризосфере. В условиях южной лесостепной зоны установлено, что стабильно высокими размеры ассоциативной азотфиксации были в ризосфере пшеницы сортов Омская 42 и Омский коралл, составляя 150,7-322,0 и 140,0-393,0 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7, 149,0-281,0 и 86,2-554,5 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при внесении *Flavobacterium sp.* соответственно. Определено, что при увеличении КОЕ клеток интродуцированных бактерий, активизировался процесс азотфиксации в ризосфере зерновых.

В условиях подтаежной зоны размеры ассоциативной азотфиксации были несколько ниже, чем в условиях южной лесостепи. Наибольшей, активность азотфиксации на серой лесной почве была в ризосфере пшеницы сортов Омская 44 и Тарская 12, увеличение при применении Мизорина составило 25-77 и 43-64% соответственно. Одновременно с ростом размеров азотфиксации существенным было и число бактериальных клеток диазотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере этих сортов пшеницы, которое в течение вегетационного периода изменялось в пределах $1,28-5,23 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,28-7,45 \times 10^6$ КОЕ/г. Из зернофуражных культур выделился ячмень, активность процесса в ризосфере этой культуры составляла до 164,3 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при применении Флавобактерина.

Математическая обработка данных выявила наличие тесной положительной корреляционной связи процесса ассоциативной азотфиксации с урожайностью агрокультур, в зоне южной лесостепи $r = 0,927$, $r = 0,986$, $r = 0,897$, в зоне подтайги $r = 0,998$, $r = 0,991$, $r = 0,916$, $r = 0,990$.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>

Список литературы

1. Алметов Н.С., Бердников В.В., Волков Е.Г., Семенов П.Н. Эффективность использования ассоциативных азотфиксирующих биопрепаратов на посевах зерновых культур // Бюллетень ВИУА. 2001. № 114. С. 56.
2. Алферов А.А., Завалин А.А., Чернова Л.С. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы при инокуляции семян ризоагрином // Вестник сельскохозяйственной науки. 2018. № 2. С. 12–16. <https://doi.org/10.30850/vrnsn/2018/2/12-16>
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Злотников А.К. Ризосферная азотфиксирующая ассоциация *Bacillus firmus* - *Klebsiella terrigena* и ее влияние на яровой ячмень при инокуляции: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1998. 26 с.
5. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений / Воробейков Г.А., Павлова Т.К., Кондрат С.В., Лебедев В.Н., Юргина В.С., Муратова Р.Р., Макаров П.Н., Дубенская Г.И., Хмелевская И.А. // Известия Российского ГПУ им. А.И. Герцена. 2011. № 141. С. 114–121.
6. Кожевин П.А. «Здоровье» почвы как проблема биотехнологии // Биотехнология: состояние и перспективы развития: Матер. междунар. конгресса. Ч. 2. Москва: 2007. С. 114.
7. Минеев В.Г., Сафрина О.С., Шабаев В.П. Влияние бактерий рода *Pseudomonas* на некоторые физиолого-биохимические процессы в растениях столовой свеклы // Доклады ВАСХНИЛ. 1992. № 1. С. 16–21.
8. Приживаемость и эффективность корневых diaзотрофов при инокуляции ячменя в зависимости от температуры и влажности почвы / Белимов А.А., Поставская С.М., Хамова О.Ф., Кожемяков А.П., Кунакова А.М., Груздева Е.В. // Микробиология. 1994. Т. 63, № 5. С. 900–908.
9. Теппер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии учебное пособие для вузов / под ред. В. К. Шильниковой. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
10. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. 2016. № 5. С. 28–32.

11. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3–9.
12. Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. Москва: МГУ, 1986. 136 с.
13. Умаров М.М. Ацетиленовый метод изучения азотфиксации в почвенно-микробиологических исследованиях // Почвоведение. 1976. № 1. С. 119–123.
14. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. Москва: ГЕОС, 2007. 138 с.
15. Умаров М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 2. С. 22–26.
16. Шабаяев В.П. Микробиологическая азотфиксация и рост растений при внесении ризосферных микроорганизмов и минеральных удобрений // Сб. научных трудов: Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. Москва: Наука, 2006. С. 195–211.
17. Шотт П.Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. Барнаул: Азбука, 2007. 176 с.
18. Bhattacharjee R.B., Singh A., Mukhopadhyay S.N. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges // Appl Microbiol Biotechnol. 2008. Vol. 80 (2). P. 199–209. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1567-2>
19. Dobermann A. Nutrient use efficiency – measurement and management in a time of new challenges // Proceedings of the IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium International Fertilizer Industry Association, 2007. P. 1–28.
20. Emerich D.W., Krishnan H.B., Westhoff P. The economics of biological nitrogen fixation in the global economy // In book: Nitrogen fixation in crop production. Madison: WI American Society of Agronomy, 2009. P. 309–328.
21. Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J., McConkey B. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase // Critical Reviews in Plant Sciences. 2007. Vol. 26. No. 1. P. 227–242. <https://doi.org/10.1080/07352680701572966>
22. Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity / Souza E.M., Chubatsu, L.S., Huergo, L.F., Monteiro R., Camilios-Neto D., Wassem R., Pedrosa F.O. // BMC Proceedings. 2014. Vol. 8 (Suppl 4: O23). <https://doi.org/10.1186/1753-6561-8-S4-O23>

References

1. Almetov N.S., Berdnikov V.V., Volkov E.G., Semenov P.N. Effektivnost' ispol'zovaniya assotsiativnykh azotfiksiruyushchikh biopreparatov na posevakh

- zernovykh kul'tur [The effectiveness of the use of associative nitrogen-fixing biologies on crops of grain crops]. *Byulleten' VIUA*, 2001, no. 114, p. 56.
2. Alferov A.A., Zavalin A.A., Chernova L.S. Urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy pri inokulyatsii semyan rizoagrinom [Yield and grain quality of spring wheat during inoculation of seeds with rhizoagrin]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2018, no. 2, pp. 12–16. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/2/12-16>
 3. Dospekhov 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: Agropromizdat Publ., 1985, 351 p.
 4. Zlotnikov A.K. *Rizosfernaya azotfiksiruyushchaya assotsiatsiya Bacillus firmus - Klebsiella terrigena i ee vliyanie na yarovoy yachmen' pri inokulyatsii* [Rhizospheric nitrogen-fixing association of *Bacillus firmus* - *Klebsiella terrigena* and its effect on spring barley during inoculation]. Moscow, 1998, 26 p.
 5. Vorobeykov G.A., Pavlova T.K., Kondrat S.V., Lebedev V.N., Yurgina V.S., Muratova R.R., Makarov P.N., Dubenskaya G.I., Khmelevskaya I.A. Issledovanie effektivnosti shtammov assotsiativnykh rizobakteriy v posevakh razlichnykh vidov rasteniy [Investigation of the effectiveness of strains of associative rhizobacteria in crops of various plant species]. *Izvestiya Rossiyskogo GPU im. A.I. Gertsena*, 2011, no. 141, pp. 114–121.
 6. Kozhevnikov P.A. «Zdorov'ye» pochvy kak problema biotekhnologii [Soil “health” as a biotechnology problem]. *Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya: Mater. mezhdunar. kongressa*. Part. 2. Moscow, 2007, p. 114.
 7. Mineev V.G., Safrina O.S., Shabaev V.P. Vliyanie bakteriy roda *Pseudomonas* na nekotorye fiziologo-biokhimicheskie protsessy v rasteniyakh stolovoy svekly [The influence of *Pseudomonas* bacteria on some physiological and biochemical processes in table beet plants]. *Doklady VASKhNIL*, 1992, no. 1, pp. 16–21.
 8. Belimov A.A., Postavskaya S.M., Khamova O.F., Kozhemyakov A.P., Kunakova A.M., Gruzdeva E.V. Prizhivaemost' i effektivnost' kornevykh diazotrofov pri inokulyatsii yachmenya v zavisimosti ot temperatury i vlazhnosti pochvy [Survival rate and effectiveness of root diazotrophs in barley inoculation depending on soil temperature and humidity]. *Mikrobiologiya*, 1994, vol. 63, no. 5, pp. 900–908.
 9. Tepper E.Z., Shil'nikova V.K. *Praktikum po mikrobiologii uchebnoe posobie dlya vuzov* [Microbiology Workshop textbook for universities]. ed. V. K. Shil'nikova. Moscow: Drofa Publ., 2004, 256 p.

10. Tikhonovich I.A., Zavalin A.A. Perspektivy ispol'zovaniya azotfiksiruyushchikh i fitostimuliruyushchikh mikroorganizmov dlya povysheniya effektivnosti agropromyshlennogo kompleksa i uluchsheniya agroekologicheskoy situatsii RF [Prospects for the use of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agroecological situation of the Russian Federation]. *Plodorodie*, 2016, no. 5, pp. 28–32.
11. Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Sel'skokhozyaystvennaya mikrobiologiya kak osnova ekologicheskoi ustoychivogo agroproduktstva: fundamental'nye i prikladnye aspekty [Agricultural microbiology as the basis of environmentally sustainable agricultural production: fundamental and applied aspects]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2011, no. 3, pp. 3–9.
12. Umarov M.M. *Assotsiativnaya azotfiksatsiya* [Associative nitrogen fixation]. Moscow: MGU Publ., 1986, 136 p.
13. Umarov M.M. Atsetilenovyy metod izucheniya azotfiksatsii v pochveno-mikrobiologicheskikh issledovaniyakh [Acetylene method for studying nitrogen fixation in soil microbiological studies]. *Pochvovedenie*, 1976, no. 1, pp. 119–123.
14. Umarov M.M., Kurakov A.V., Stepanov A.L. *Mikrobiologicheskaya transformatsiya azota v pochve* [Microbiological transformation of nitrogen in the soil]. Moscow: GEOS Publ., 2007, 138 p.
15. Umarov M.M. Azotfiksatsiya v assotsiativnykh organizmakh [Nitrogen fixation in associations of organisms]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2009, no. 2, pp. 22–26.
16. Shabaev V.P. *Mikrobiologicheskaya azotfiksatsiya i rost rasteniy pri vnesenii rizosfernykh mikroorganizmov i mineral'nykh udobreniy* [Collection of scientific papers: Soil processes and spatial-temporal organization of soils]. Moscow: Nauka Publ., 2006. pp. 195–211.
17. Shott P.R. *Fiksatsiya atmosfernogo azota v odnoletnikh agrotsenozakh* [Fixation of atmospheric nitrogen in annual agrocenoses]. Barnaul: Azbuka Publ., 2007, 176 p.
18. Bhattacharjee R.B., Singh A., Mukhopadhyay S.N. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2008, vol. 80 (2), pp. 199–209. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1567-2>
19. Dobermann A. *Nutrient use efficiency – measurement and management in a time of new challenges*. Proceedings of the IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium International Fertilizer Industry Association, 2007, pp. 1–28.

20. Emerich D.W., Krishnan H.B., Westhoff P. The economics of biological nitrogen fixation in the global economy. In book: *Nitrogen fixation in crop production*. Madison: WI American Society of Agronomy Publ., 2009, pp. 309–328.
21. Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J., McConkey B. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2007, vol. 26, no. 1, pp. 227–242. <https://doi.org/10.1080/07352680701572966>
22. Souza E.M., Chubatsu, L.S., Huergo, L.F., Monteiro R., Camilios-Neto D., Wassem R., Pedrosa F.O. Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity. *BMC Proceedings*, 2014, vol. 8 (Suppl 4 : O23), pp. 1–3. <https://doi.org/10.1186/1753-6561-8-S4-O23>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шулико Наталья Николаевна, к.с.-х.н., заведующая лабораторией микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
shuliko@anc55.ru

Киселёва Алина Андреевна, младший научный сотрудник лаборатории микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
veybender@anc55.ru

Тукмачева Елена Васильевна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
tukmacheva@anc55.ru

Корчагина Ирина Анатольевна, к.с.-х.н., старший научный сотрудник
лаборатории микробиологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
korchagina@anc55.ru*

Кубасова Екатерина Владимировна, к.с.-х.н., старший научный сотрудник
лаборатории микробиологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
kubasova@anc55.ru*

Тимохин Артем Юрьевич, к.с.-х.н., заведующий лабораторией полевого
кормопроизводства
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
timokhin@anc55.ru*

Юсова Оксана Александровна, к.с.-х.н., заведующая лабораторией физиологии и биохимии растений
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
yusova@anc55.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya N. Shuliko, Cand.Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Microbiology
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
shuliko@anc55.ru
SPIN-code: 7601-1991
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>
ResearcherID: ABF-6522-2021*

Alina A. Kiselyova, Junior Researcher of Laboratory of Microbiology
Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
veybender@anc55.ru
SPIN-code: 1146-1516
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5089-3703>

Elena V. Tukmacheva, Cand.Sci. (Biol.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology

Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
tukmacheva@anc55.ru
SPIN-code: 1881-1679
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>
ResearcherID: AAD-9301-2021

Irina A. Korchagina, Cand.Sci. (Agric.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology

Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
korchagina@anc55.ru
SPIN-code: 7818-1663
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5188-7148>
ResearcherID: JRS-6928-2023
Scopus Author ID: 9434827600

Ekaterina V. Kubasova, Cand.Sci. (Agric.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology

Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
kubasova@anc55.ru
SPIN-code: 9127-5995
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3166-0028>
ResearcherID: JRX-6869-2023

Artem Yu. Timokhin, Cand.Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Field feed Production

Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
timokhin@anc55.ru

SPIN-code: 5162-2346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

ResearcherID: JPL-4190-2023

Scopus Author ID: 57213195613

Oksana A. Yusova, Cand.Sci. (Agric.), Head of the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

yusova@anc55.ru

SPIN-code: 7096-6529

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Scopus Author ID: 57216487997

Поступила 29.03.2024

После рецензирования 20.05.2024

Принята 27.05.2024

Received 29.03.2024

Revised 20.05.2024

Accepted 27.05.2024