

mowing of grasses and the hay yield of the first and second mowing. The correlation coefficients ( $r$ ) were 0,83 and 0,73, respectively. With an increase of  $N_{\min}$  reserves in the soil, a significant increase in productivity was observed.

Поступила 16.10.20

УДК 631.46:63.559:633.1:631.442

## **ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ *A. BRASILENSE* И *B. CIRCULANS* НА УРОЖАЙНОСТЬ, КАЧЕСТВО И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВАХ**

**Н. А. Михайловская<sup>1</sup>, Н. Н. Цыбулько<sup>1</sup>, Д. В. Войтка<sup>2</sup>, С. А. Касьянчик<sup>1</sup>,  
А. М. Устинова<sup>1</sup>, Т. Б. Барашенко<sup>1</sup>, С. В. Дюсова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Институт защиты растений,  
аг. Прилуки, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Бактериальные удобрения представляют интерес как средства экологизации растениеводства, позволяющие повышать урожайность и качество растениеводческой продукции. Эффект от их применения обусловлен действием ризобактерий на метаболизм растений. Величина эффекта зависит от наличия и разнообразия приспособительных механизмов у используемых микроорганизмов. Наибольший интерес представляют ризобактерии, оказывающие гормональное действие на растения и способные повышать доступность основных элементов минерального питания. Преимуществом бактериальных удобрений является их невысокая стоимость и возможность частичного снижения нагрузки на почвы по уровню применения химических средств повышения урожайности.

В настоящее время основное внимание уделяется многокомпонентным микробным препаратам, оказывающим полифункциональное действие на сельскохозяйственные растения. Создание многофункциональных микробных препаратов на основе различных агрономически полезных микроорганизмов с целевыми свойствами является одним из способов повышения их эффективности.

В коллекции Института почвоведения и агрохимии имеются штаммы и изоляты азотфиксирующих (*Azospirillum* sp.) и калиймобилизующих (*Bacillus* sp.) бактерий. На основе активных ризобактерий созданы моноинокулянты и бинарный бактериальный инокулянт.

Многочисленные научные исследования, проведенные с азоспириллами в разных климатических регионах, свидетельствуют об их существенном положительном воздействии на продуктивный статус инокулированных растений

за счет сочетания целого ряда полезных приспособительных свойств, включая стимуляцию роста, азотфиксацию, фосфатмобилизацию и фунгистатический эффект [1–11].

Анализ литературных данных показывает, что наиболее активными представителями калиймобилизующих ризобактерий считаются слизеобразующие бациллы рода *Bacillus*, широко распространенные в зоне умеренного климата [12, 13, 14]. Наряду с высокой активностью мобилизации калия и гормональным эффектом, многие бациллы проявляют значительную фунгистатическую активность против корневой гнили зерновых культур, что делает их перспективным компонентом микробных композиций для повышения эффективности биологического контроля фитопатогенов [15].

Интересно сравнить эффективность применения бинарного бактериального инокулянта, включающего *Azospirillum brasilense* и *Bacillus circulans*, с однокомпонентными инокулянтами при возделывании зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах. В стрессовых условиях при развитии эрозионных процессов актуальность применения микробных удобрений возрастает, так как они способны обеспечить повышение адаптивных возможностей сельскохозяйственных растений.

**Цель исследований** – изучить влияние бактериальных моноинокулянтов *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans* и бинарной композиции *Azospirillum brasilense* + *Bacillus circulans* на урожайность, качество продукции зерновых культур и фитопатологическое состояние посевов при возделывании на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы ризобактерии из коллекционного фонда Института почвоведения и агрохимии. Ризобактерия *Azospirillum brasilense* 2(в)3 характеризуется высоким азотфиксирующим потенциалом, нитрогеназная активность в среднем составляет 133 мкг N<sub>2</sub>/сосуд в чистой культуре на полужидкой среде D [3, 15]. В количественном выражении способность *Azospirillum brasilense* 2(в)3 к растворению ортофосфата кальция в инокулированной *A. brasilense* жидкой питательной среде (без растворимого фосфора) в среднем составляет 308 мг/л P [14]. Известно, что представители *Azospirillum* sp. способны осуществлять все реакции цикла азота, исключая нитрификацию. В качестве источников азота *Azospirillum* sp. могут использовать атмосферный азот, аммоний, нитраты, нитриты, аминокислоты [14].

Ризобактерия *Bacillus circulans* K-81 характеризуется способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного калия. В инокулированных *B. circulans* жидких питательных средах, содержащих мусковит и гидромусковит, активность мобилизации калия достигает 13,6 мг K/10г и 10,3 мг K/10г соответственно [16]. Ризобактерия *B. circulans* K-81 мобилизует фосфор из нерастворимого трехзамещенного фосфата кальция в жидкой питательной среде, не содержащей растворимого фосфора, активность фосфатрастворения в среднем на уровне 144 мг/л P [8].

**Стационарный опыт «Стоковые площадки».** Исследования проведены в полевом стационаре «Стоковые площадки», заложенном на наиболее подвержен-

ных водно-эрозионным процессам дерново-подзолистых почвах, сформированных на мощных лессовидных суглинках (СПК «Щомыслица», Минский р-н). Стационар заложен по геоморфологическому профилю (катене) от водораздельной равнины до подножья склона. Склоны северной и южной экспозиции, крутизна склонов – 5°.

В 2015 г. в стационарном опыте возделывали озимую пшеницу сорта Богатка ( $N_{100+30}P_{60}K_{100}$ ), в 2016 г. – озимую пшеницу сорта Сукцес ( $N_{100+30}P_{60}K_{100}$ ) на незеродированной, средне- и сильноэродированной почвах (склон южной экспозиции). Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы:  $pH_{(KCl)}$  5,2–5,9, содержание подвижных форм фосфора – 290–330, калия – 180–230 мг/кг почвы, гумуса – 1,8–2,5 %.

В 2017 г. исследования проводили на яровом ячмене сорта Стратус ( $N_{90+30}P_{50}K_{90}$ ), в 2018 г. – на озимой ржи сорта Пламя ( $N_{90+30}P_{50}K_{100}$ ), в 2019 г. – на озимом тритикале сорта Динаро ( $N_{90+30}P_{50}K_{100}$ ) на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах (стоковые площадки 7, 8; склон северной экспозиции). Агрохимические свойства пахотного слоя почвы: гумус – 1,8–2,1 %;  $pH$  5,4–5,8;  $P_2O_5$  – 328–360 мг/кг;  $K_2O$  – 233–300 мг/кг (стоковая площадка 8); гумус – 2,1–2,2 %;  $pH$  5,2–5,3;  $P_2O_5$  – 359–434 и  $K_2O$  – 248–321 мг/кг (стоковая площадка 7).

Повторность в опытах трехкратная. Общая площадь делянки на водораздельной равнине – 50 м<sup>2</sup>, на эродированных почвах – 40 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 35 м<sup>2</sup> и 30 м<sup>2</sup> соответственно. Фосфорные (аммонизированный суперфосфат) и калийные (хлористый калий) удобрения вносили перед посевом, карбамид – перед посевом и для подкормки в период вегетации.

Инокуляции посевов яровой культуры проведена в фазе всходы – начало кущения, обработка посевов озимых культур – весной в фазе кущения. Титры ризобактерий (*A. brasilense* и *B. circulans*) в моноинокулянтах – не ниже  $1,5 \cdot 10^9$  КОЕ/мл. Соотношение компонентов в бинарном инокулянте – 1:1.

В полевом стационаре учеты пораженности растений корневой гнилью проводили в соответствии с общепринятой методикой [17]. Распространенность болезни (процент пораженных растений) рассчитывали по формуле:  $P = (n \cdot 100) : N$ , где  $P$  – распространенность болезни (%);  $n$  – количество инфицированных растений в пробах, экз.;  $N$  – общее количество растений в пробах, экз. Развитие болезни рассчитывали по формуле:  $R = (\sum ab \cdot 100) : (N \cdot k)$ , где  $R$  – развитие болезни (%);  $ab$  – произведение числа растений ( $a$ ) на соответствующий им балл поражения ( $b$ );  $N$  – количество взятых для учета растений, экз.;  $k$  – наивысший балл шкалы, по которой делалась оценка поражения в опыте. Биологическую эффективность рассчитывали по показателю развития болезни или степени поражения по формуле:  $БЭ = (P_k - P_o) \cdot 100 : P_k$ , где  $БЭ$  – биологическая эффективность (%);  $P_k$  – процент развития или степень поражения растений в контроле;  $P_o$  – процент развития или степень поражения на опытном участке [17].

Метеорологические условия вегетационных периодов в годы исследований (2015–2019 гг.) характеризуются следующими ГТК (по Г. Т. Селянинову): 1,32; 1,43; 1,74; 1,67 и 1,49 при среднемноголетнем значении 1,64.

Для оценки качества продукции определяли содержание общего и белкового азота, фосфора и калия в зерне методом ИК-спектроскопии (NIR Systems 4500).

Статистическую обработку результатов исследований проводили по Б. А. Доспехову с использованием программ для дисперсионного анализа, в пакетах статистического анализа MS Excel с учетом групповых различий между средними значениями на основе наименьшей существенной разницы (НСР) и доверительного интервала с вероятностью 95 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Воздействие изучаемых бактериальных инокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* на метаболизм растений подтверждено результатами серии ранее выполненных *in vitro* экспериментов. Оценивали стимулирующее действие ризобактерий на инокулированные растения в начальные этапы онтогенеза. Было установлено, что применение *A. brasilense* приводило к увеличению объема корней в среднем на 30 %, их сырой массы – на 54 %, сырой массы проростков – на 25 % [14]. Калиймобилизующие ризобактерии *B. circulans* также стимулировали развитие корневой системы и надземной части растений, что проявлялось в увеличении объема корней на 18 %, их сырой массы – на 24 %, сухой массы – на 40 %, сырой и сухой массы проростков – на 18 % и 6 % соответственно [14].

Азотфиксирующие и калиймобилизующие бактерии стимулируют развитие корневой системы, что увеличивает площадь поглощающей поверхности корней, обеспечивая таким образом повышение адаптивных возможностей растений по использованию воды и элементов минерального питания из почвы и удобрений [1, 2, 4, 9, 10, 16].

**Влияние инокуляции посевов на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах.** В стационарном полевом опыте «Стоковые площадки» проведено сравнение эффективности моноинокулянтов *A. brasilense*, *B. circulans* и бинарного бактериального инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* (1:1) на посевах пшеницы озимой сортов Богатка и Сукцесс, ячменя ярового Стратус, ржи озимой Пламя и тритикале озимого Динаро.

**Пшеница озимая.** В 2015 и 2016 гг. исследования проведены с разными сортами озимой пшеницы. При использовании бинарного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* прибавки урожайности озимой пшеницы Богатка на неэродированной, средне- и сильноэродированной почве составили 3,7 ц/га (4,8 %); 4,8 ц/га (6,5 %) и 3,5 ц/га (4,9 %) зерна соответственно (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние моно- и бинарного инокулянтов на урожайность пшеницы озимой Богатка на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (N<sub>100+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>, 2015 г.)**

Степень эродированности почвы	Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка	
			ц/га	%
Неэродированная	Контроль	77,5	–	–
	<i>A. brasilense</i>	80,4	2,9	3,7
	<i>B. circulans</i>	79,5	2,0	2,6
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	<b>81,2</b>	<b>3,7</b>	<b>4,8</b>

Окончание табл. 1

Степень эродированности почвы	Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка	
			ц/га	%
Среднеэродированная	Контроль	74,2	–	–
	<i>A. brasilense</i>	77,8	3,6	4,9
	<i>B. circulans</i>	76,7	2,5	3,4
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	<b>79,0</b>	<b>4,8</b>	<b>6,5</b>
Сильноэродированная	Контроль	72,1	–	–
	<i>A. brasilense</i>	75,2	3,1	4,3
	<i>B. circulans</i>	75,4	3,3	4,6
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	<b>75,6</b>	<b>3,5</b>	<b>4,9</b>
НСР <sub>05</sub> А (почва) 2,25; В (инокуляция) 2,95				

Наибольшая эффективность инокуляции посевов отмечена на среднеэродированной почве.

В 2016 г. при возделывании пшеницы озимой сорта Сукцес установлено последовательное повышение эффективности инокуляции посевов по почвенно-эрозийной катене. Наибольшая эффективность инокуляции посевов отмечена на сильноэродированной почве. Прибавки урожайности от применения бинарного бактериального инокулянта составили на незеродированной, средне- и сильноэродированной почвах 3,6 ц/га (5,9 %); 4,1 ц/га (7,6 %) и 4,6 ц/га (10,0 %) соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние моно- и бинарного инокулянтов на урожайность пшеницы озимой Сукцес на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (N<sub>100+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>100</sub>, 2016 г.)**

Степень эродированности почвы	Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка	
			ц/га	%
Неэродированная	Контроль	61,4	–	–
	<i>A. brasilense</i>	65,3	3,9	6,4
	<i>B. circulans</i>	63,9	2,5	4,1
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	<b>65,0</b>	<b>3,6</b>	<b>5,9</b>
Среднеэродированная	Контроль	54,2	–	–
	<i>A. brasilense</i>	57,7	3,5	6,5
	<i>B. circulans</i>	56,8	2,6	4,8
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	<b>58,3</b>	<b>4,1</b>	<b>7,6</b>
Сильноэродированная	Контроль	45,9	–	–
	<i>A. brasilense</i>	49,4	3,5	7,6
	<i>B. circulans</i>	49,5	3,6	7,8
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	<b>50,5</b>	<b>4,6</b>	<b>10,0</b>
НСР <sub>05</sub> А (почва) 2,93; В (инокуляция) 3,39				

При внесении моноинокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* прибавки зерна составили 3,9 (6,4 %) и 2,5 (4,1 %); 3,5 (6,5 %) и 2,6 (4,8 %); 3,5 (7,6 %) и

3,6 ц/га (7,8 %) соответственно. Отмечено повышение эффективности применения ризобактерий в условиях стресса на сильноэродированной почве.

При возделывании пшеницы озимой сорта Богатка использование двухкомпонентного инокулянта приводило к достоверному повышению содержания белкового азота и сырого протеина в зерне, полученном на неэродированных и сильноэродированных почвах. Установлено также повышение сбора белка и существенное увеличение массы 1000 зерен. При возделывании пшеницы озимой сорта Сукцес на неэродированной, средне- и сильноэродированной почвах проявилась тенденция повышения содержания  $N_{\text{белк}}$  при использовании бинарной инокуляции. Достоверным было влияние бактериальной композиции на массу 1000 зерен (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние инокуляции посевов на качество пшеницы озимой на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах («Стоковые площадки»)**

Почва	Вариант	Сорт Богатка, 2015 г.			Сорт Сукцес, 2016 г.		
		сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г	сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г
Неэродированная	Контроль	11,9	7,9	49,1	11,2	5,9	44,7
	<i>A. brasilense</i>	12,8	8,9	50,9	11,6	6,5	45,2
	<i>B. circulans</i>	12,7	8,7	49,6	11,8	6,5	45,4
	<i>A. bras.+ B. circ.</i>	12,7	8,9	50,9	11,5	6,4	45,2
Среднеэродированная	Контроль	11,8	7,5	48,1	10,9	5,1	43,7
	<i>A. brasilense</i>	12,3	8,2	49,1	11,4	5,7	44,5
	<i>B. circulans</i>	11,8	7,8	50,5	11,3	5,5	44,8
	<i>A. bras.+ B. circ.</i>	12,1	8,2	49,8	11,3	5,7	44,8
Сильноэродированная	Контроль	11,5	7,1	47,5	10,1	4,0	42,0
	<i>A. brasilense</i>	12,4	8,0	48,7	10,9	4,6	43,0
	<i>B. circulans</i>	11,9	7,7	48,5	10,8	4,6	43,4
	<i>A. bras.+ B. circ.</i>	12,1	7,9	48,9	10,8	4,7	43,2
НСП <sub>05</sub> А (почва) В (инокуляция)		0,50	–	0,77	0,62	–	0,51
		0,56		0,63	0,75		0,41

**Ячмень яровой.** В 2017 г. исследования проведены на посевах ярового ячменя сорта Стратус. В фазе молочно-восковой спелости проведена оценка влияния ризобактерий на показатели развития растений. Установлено стимулирующее действие *A. brasilense* и *B. circulans*. При их применении увеличение длины стеблей растений варьировало в пределах 8–30 % на водоразделе и 14–32 % на среднеэродированной почве; длины колоса – на 15–22 % и 7–12 %, числа зерен в колосе – на 12–18 % и 5–15 %, увеличение массы корней – на 7–31 и 7–29 % соответственно [18]. Наиболее значимый стимулирующий эффект оказывал двухкомпонентный инокулянт *A. Brasilense* + *B. circulans* по сравнению с моноинокулянтами.

Бинарная композиция ризобактерий *A. Brasilense* + *B. circulans* также обеспечивала и наиболее высокие показатели урожайности ячменя ярового на разных элементах склона. Прибавки урожайности зерна составили 3,9 (6,9 %); 4,2 (7,9 %)

и 3,4 ц/га (6,6 %) по почвенно-эрозионной катене. Применение моноинокулянта на основе *A. brasilense* обеспечивало прибавки зерна от 4,9 % на незэродированной почве до 6,6 % на эродированных почвах. За счет моноинокулянта на основе *B. circulans* прибавки урожайности составили 3,2 % на незэродированной почве и 5,8–6,6 % на эродированных почвах (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние моно- и бинарного инокулянтов на урожайность и качество ячменя ярового Стратус на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах («Стоковые площадки», N<sub>90+30</sub>P<sub>50</sub>K<sub>90</sub>, 2017 г.)**

Степень эродированности почвы	Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка		Сырой протеин, %	Масса 1000 зерен, г
			ц/га	%		
Незэродированная	Контроль	56,2	–	–	11,1	52,2
	<i>A. brasilense</i>	59,0	2,8	4,9	13,1	53,8
	<i>B. circulans</i>	58,0	1,8	3,2	12,3	53,3
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	60,1	3,9	6,9	12,5	53,9
Слабозэродированная	Контроль	53,0	–	–	9,9	51,4
	<i>A. brasilense</i>	56,5	3,5	6,6	12,5	52,4
	<i>B. circulans</i>	56,5	3,5	6,6	11,1	52,4
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	57,2	4,2	7,9	11,5	53,4
Среднезэродированная	Контроль	51,8	–	–	9,6	50,8
	<i>A. brasilense</i>	55,2	3,4	6,6	11,8	51,6
	<i>B. circulans</i>	54,8	3,0	5,8	11,7	51,5
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	55,2	3,4	6,6	10,6	52,1
НСР <sub>05</sub> А (почва)		–	1,79	–	0,56	0,30
В (инокуляция)		–	2,82	–	0,88	0,50

При возделывании ячменя ярового также установлено повышение эффективности применения азотфиксирующих и калиймобилизующих ризобактерий в условиях стресса на эродированных почвах.

Применение бактериальных инокулянтов достоверно повышало содержание общего и белкового азота в зерне ярового ячменя на всех элементах склона. Наиболее значимое влияние на содержание азота в зерне оказывали азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* и двухкомпонентная бактериальная композиция.

Отмечено повышение массы 1000 зерен, содержания и сбора белка. Наиболее значимый положительный эффект обеспечивало применение бинарной бактериальной композиции и азотфиксирующих бактерий *A. brasilense* в качестве инокулянтов.

**Рожь озимая.** В 2018 г. в стационаре «Стоковые площадки» изучена эффективность моно- и бинарного инокулянтов ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* на посевах ржи озимой сорта Пламя. Инокуляция посевов способствовала повышению урожайности зерна. На эродированных почвах эффект от применения бактериальных удобрений возрастал. При внесении моноинокулянта *A. brasilense* прибавки урожайности зерна составили: 2,1 (3,9 %); 2,2 (4,3 %) и 3,0 (6,5 %); при инокуляции посевов *B. circulans* – 1,7 (3,1 %);

2,4 (4,7 %) и 2,5 (5,4 %) на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах соответственно.

Бинарный бактериальный инокулянт *A. brasilense* + *B. circulans* значительно повышал урожайность ржи озимой на разных элементах склона. Уровень прибавок урожайности зерна на неэродированной почве составил 5,7 % (3,1 ц/га), на слабоэродированной – 6,2 % (3,2 ц/га) и на среднеэродированной почве – 6,9 % (3,2 ц/га) (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние моно- и бинарного инокулянтов на урожайность и качество ржи озимой Пламя на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (N<sub>90+30</sub>P<sub>50</sub>K<sub>100</sub>, 2018 г.)**

Степень эродированности почвы	Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка		Сырой протеин, %	Масса 1000 зерен, г
			ц/га	%		
Неэродированная	Контроль	54,0	–	–	9,6	45,3
	<i>A. brasilense</i>	56,1	2,1	3,9	11,2	46,6
	<i>B. circulans</i>	55,7	1,7	3,1	10,3	46,3
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	57,1	3,1	5,7	10,9	47,1
Слабоэродированная	Контроль	51,3	–	–	9,1	42,9
	<i>A. brasilense</i>	53,5	2,2	4,3	10,9	43,6
	<i>B. circulans</i>	53,7	2,4	4,7	10,1	43,4
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	54,5	3,2	6,2	10,9	44,1
Среднеэродированная	Контроль	46,1	–	–	9,0	41,2
	<i>A. brasilense</i>	49,1	3,0	6,5	10,1	42,8
	<i>B. circulans</i>	48,6	2,5	5,4	9,4	42,1
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	49,3	3,2	6,9	10,8	43,4
НСП <sub>05</sub> А (почва)		–	1,37	–	0,38	0,28
В (инокуляция)		–	2,24	–	0,69	0,46

На посевах озимой ржи Пламя также отмечена общая закономерность – антистрессовое действие бактериальных инокулянтов и повышение их эффективности на эродированных почвах. Установлено достоверное повышение содержания общего и белкового азота в зерне ржи озимой на всех элементах склона. Наиболее значительно влияли на содержание азота в зерне азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* и бинарная бактериальная композиция.

**Тритикале озимое.** При возделывании тритикале озимого сорта Динаро в 2019 г. в полевом стационаре установлены сходные закономерности. Протестированные ризобактериальные инокулянты обеспечивали повышение урожайности по почвенно-эрозионной катене, бинарный инокулянт превышал по эффективности действие моноинокулянтов, наиболее значимый эффект от инокуляции посевов отмечали на эродированных почвах.

Эффективность применения азотфиксирующих и калиймобилизующих ризобактерий в форме моноинокулянтов на неэродированной почве составила 2,7 ц/га (4,2 %) и 2,0 ц/га (3,1 %), на эродированных почвах – 3,2–3,7 ц/га (5,8–6,1 %) и 3,3–3,6 ц/га (5,4–6,5 %) соответственно. Бинарный бактериальный инокулянт *A. brasilense* + *B. circulans* обеспечил прибавки зерна в пределах 5,8–6,4 % (3,5–3,9 ц/га) по почвенно-эрозионной катене (табл. 6).



Таблица 6

**Влияние инокуляции на урожайность и качество тритикале озимого Динаро на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (2019 г.)**

Степень эродированности почвы	Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка		Сырой протеин, %	Масса 1000 зерен, г
			ц/га	%		
Неэродированная	Контроль	63,8	–	–	10,8	33,2
	<i>A. brasilense</i>	66,5	2,7	4,2	12,1	33,4
	<i>B. circulans</i>	65,8	2,0	3,1	10,7	34,1
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	67,5	3,7	5,8	12,1	34,1
Слабоэродированная	Контроль	60,9	–	–	10,8	32,2
	<i>A. brasilense</i>	64,6	3,7	6,1	11,3	32,7
	<i>B. circulans</i>	64,2	3,3	5,4	10,6	32,3
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	64,8	3,9	6,4	11,3	32,9
Среднеэродированная	Контроль	55,5	–	–	9,7	31,2
	<i>A. brasilense</i>	58,7	3,2	5,8	11,1	31,9
	<i>B. circulans</i>	59,1	3,6	6,5	9,9	31,6
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	59,0	3,5	6,3	11,1	32,4
НСП <sub>05</sub> А (почва)		–	1,57	–	0,38	0,58
В (инокуляция)		–	2,56	–	0,56	0,85

**Влияние ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* на фитопатологическое состояние посевов зерновых культур на эродированных почвах.** Результаты учета пораженности растений корневой гнилью свидетельствуют, что обработка посевов бактериальными инокулянтами снижает интенсивность патологического процесса по почвенно-эрозионной катене. На посевах озимой ржи биологическая эффективность моноинокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* на неэродированной почве составила 11,6 % и 14,2 %, на слабоэродированной – 20,7 и 10,9 %, на среднеэродированной – 21,7 и 15,5 %; на посевах тритикале озимого – 29,3 % и 18,8 %; 30,1 и 22,8 %; 27,4 и 21,5 % соответственно (табл. 7).

Таблица 7

**Влияние ризобактерий на фитопатологическое состояние посевов ржи озимой и тритикале озимого на дерново-подзолистых легкосуглинистых эродированных почвах (Стоковые площадки, 2018, 2019 гг.)**

Степень эродированности почвы	Вариант	Рожь озимая (молочная спелость)			Тритикале озимое (цветение)		
		Р, %	Р, %	БЭ	Р, %	Р, %	БЭ
Неэродированная	Контроль	73,3	18,3	–	35,0	18,1	–
	<i>A. brasilense</i>	65,7	16,4	11,6	25,0	12,8	29,3
	<i>B. circulans</i>	62,7	15,7	14,2	28,8	14,7	18,8
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	47,6	11,9	35,0	23,0	11,6	35,9
Слабоэродированная	Контроль	80,9	20,2	–	43,8	21,9	–
	<i>A. brasilense</i>	63,5	15,9	20,7	30,0	15,3	30,1
	<i>B. circulans</i>	72,0	18,0	10,9	32,5	16,9	22,8
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	52,9	13,2	34,7	30,0	15,0	31,5

Степень эродированности почвы	Вариант	Рожь озимая (молочная спелость)			Тритикале озимое (цветение)		
		P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
Среднеэродированная	Контроль	85,3	21,3	–	42,5	21,9	–
	<i>A. brasilense</i>	69,8	17,5	21,7	32,5	15,9	27,4
	<i>B. circulans</i>	72,2	18,0	15,5	33,8	17,2	21,5
	<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	63,2	15,8	25,8	31,3	15,3	30,1

*Примечание.* P – распространенность болезни, R – развитие болезни, БЭ – биологическая эффективность.

Бинарная бактериальная композиция *A. brasilense* + *B. circulans* проявляет более высокий защитный эффект в отношении корневой гнили по сравнению с моноинокулянтами. На посевах ржи озимой ее биологическая эффективность на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах составила 35,0 %, 34,7 % и 25,8 %, а на посевах тритикале озимого – 35,9 %, 31,5 % и 30,1 % соответственно.

Таким образом, показано, что азотфиксирующие и калиймобилизующие ризобактерии *A. brasilense* и *B. circulans* оказывают антистрессовое действие на зерновые культуры при возделывании на эродированных почвах. Воздействие ризобактерий на метаболизм растений зерновых культур способствует повышению их адаптивного потенциала по потреблению воды и элементов минерального питания из атмосферы, почвы и удобрений. Важным антистрессовым фактором является фунгистатический эффект *A. brasilense* и *B. circulans* в отношении возбудителей корневой гнили зерновых культур. Аддитивное действие перечисленных факторов способствует повышению урожайности и качества продукции зерновых культур.

## ВЫВОДЫ

Тестирование моноинокулянтов (*A. brasilense*, *B. circulans*) и бинарного инокулянта (*A. Brasilense* + *B. circulans*) на пшенице озимой, ячмене яровом, ржи озимой и тритикале озимом позволило выявить основные закономерности их действия при возделывании зерновых культур на эродированных почвах. Установлено, что обработка посевов является эффективным приемом применения бактериальных удобрений на яровой и озимых зерновых культурах. Как моноинокулянты, так и бинарная бактериальная композиция обеспечивают повышение урожайности и качества зерна по содержанию белкового азота и показателю массы 1000 зерен. Как правило, эффективность обработки посевов зерновых культур моно- и бинарным инокулянтами возрастает в стрессовых условиях на эродированных почвах. Применение бактериальных инокулянтов оказывает фунгистатическое действие на фитопатогенов корневой системы зерновых культур, что способствует снижению пораженности растений корневой гнилью. Эффективность бинарной композиции ризобактерий *A. brasilense* + *B. circulans* превышает действие однокомпонентных инокулянтов на урожайность, качество и фитопатологическое состояние посевов зерновых культур.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bashan, Y.* Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony // *Can. J. Microbiol.* – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.
2. *Okon, Y.* Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation / Y. Okon, C.A. Labandera-Gonzalez // *Soil Biol. Biochem.* – 1994. – Vol. 26. – P. 1591–1601.
3. *Boddy, R. M.* Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for future / R. M. Boddy, J. Dobreiner // *Fertilizer Research.* – 1995. – Vol. 42. – P. 241–250.
4. *Okon, Y.* Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // *Plant Soil.* – 1986. – Vol. 90. – P. 3–16.
5. *Kapulnik, Y.* Contribution of nitrogen fixed by *Azospirillum* to N nutrition of spring wheat in Israel. / Y. Kapulnik, Feldman, Y. Okon, Y. Henis // *Soil Biol. Biochem.* – 1985. – Vol. 17. – P. 509–515.
6. Изучение способности штамма *A. brasilense* к мобилизации ортофосфатов кальция / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвенные исследования и применение удобрений.* – 2003. – Вып. 27. – С. 325–332.
7. *Kennedy, I. R.* Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? / I. R. Kennedy, A. T. M. A. Chouhury, M. L. Kecskes // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – Vol. 36, № 8. – P. 1229–1244.
8. *Steenhoudt, O.* *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects / O. Steenhoudt, J. Vanderleyden // *FEMS Microbiology Reviews.* – 2000. – V. 24. Issue 4. – P. 487–506.
9. *Михайловская, Н. А.* Эффективность бактеризации ежи сборной *Azospirillum brasilense* В-4485 на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н. А. Михайловская, Г. В. Жила, Л. А. Юрко // *Почвенные исследования и применение удобрений.* – 2004. – Вып. 28. – С. 217–222.
10. Эффективность бактеризации разных видов трав *Azospirillum brasilense* / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия.* – 2006. – № 1(36). – С. 202–207.
11. *Mikhailovskaya, N.* The effect of seed inoculation by *Azospirillum brasilense* В-4485 on flax yield and its quality / N. Mikhailovskaya // *Plant, Soil and Environment.* – 2006 (9). – V. 52. – P. 402–406.
12. *Аристовская, Т. В.* Микробиология процессов почвообразования / Т. В. Аристовская. – Л.: Наука, 1980. – 187 с.
13. *Звягинцев, Д. Г.* Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: МГУ, 2005. – 445 с.
14. *Михайловская, Н. А.* Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия.* – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.
15. *Михайловская, Н. А.* Антагонистическая активность ризобактерий *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным микромицетам рр. *Fusarium* и *Alternaria* / Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко // *Почвоведение и агрохимия.* – 2019. – № 1(62). – С. 234–244.

16. Михайловская, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.

17. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларусі по земледелию, Ин-т защиты растений; ред. Ф. Буга. – Несвиж: Несвиж. укрупн. тип. им. С. Будного, 2007. – 508 с.

18. Влияние микробной композиции и ее компонентов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2017. – № 2(59). – С. 166– 176.

## **EFFECT OF RHIZOBACTERIA *A. BRASILENSE* AND *B. CIRCULANS* ON YIELD, QUALITY AND PHYTOPATHOLOGY STATUS OF GRAIN CROPS UNDER GROWING ON ERODED SOILS**

**N. A. Mikhailouskaya, N. N. Tsybulko, D. V. Voitka, C. A. Kasyanchyk,  
A. M. Ustinova, T. B. Barashenko, S. V. Dyusova**

### **Summary**

Testing of monoinoculants (*A. brasilense*, *B. circulans*) and binary inoculant (*A. brasilense* + *B. circulans*) in field experiment on eroded sod-podzolic soils for grain crops growing (winter wheat, spring barley, winter rye and winter triticale) revealed some regularities of their action. It was found that sow treatment is effective technique of rhizobacteria application for spring and winter grain crops. Mono- and binary inoculation provided effective biological control of plant's root infections and resulted in the increase of grain yields and grain's quality. As a rule the inoculation efficiency on eroded soils exceeded that on watershed. Binary inoculation was more effective technique compared application of rhizobacteria monoinoculants.

*Поступила 16.10.20*

УДК 631.81:631.85:631.445

## **ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ МАСЛА ЛЬНЯНОГО ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**Г. В. Пироговская, С. С. Хмелевский, В. И. Сороко,  
Г. Г. Карпович, В. Н. Ефимчик,**

*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь посевные площади в сельскохозяйственных организациях, включая и крестьянские (фермерские) хозяйства со льном масличным (лен-кудряш) составляли в