

**ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН РИЗОАГРИНОМ
НА МИКРОФЛОРУ РИЗОСФЕРЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

О.Ф. Хамова, кандидат биологических наук, ведущий
научный сотрудник

Е.В. Тукмачева, кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник

Н.Ф. Балабанова, кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник

Н.Н. Шулико, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Омский аграрный научный центр, Омск, Россия

E-mail: 55asc@bk.ru

Ключевые слова: озимая пшеница, удобрения, биологическая активность почвы, урожайность

Реферат. В полевом стационарном опыте с применением минеральных удобрений и соломы в зернопаровом севообороте с выводным полем люцерны исследована численность микрофлоры в ризосфере озимой пшеницы нового сорта Прииртышская после обработки семян биопрепаратом комплексного действия – ризоагрином. Наиболее высокая общая численность агрономически полезных групп микроорганизмов установлена в варианте с инокуляцией семян культуры ризоагрином на фоне минеральных удобрений, а также при сочетании приемов инокуляции, внесения минеральных удобрений и соломы ($N_{15}P_{23}$ + солома + инокуляция), соответственно 444 и 355 млн КОЕ/г при 217 млн КОЕ/г в контроле. В варианте с инокуляцией семян озимой пшеницы на фоне минеральных удобрений ($N_{15}P_{23}$ + инокуляция) количество олигонитрофилов и бактерий, минерализующих минеральные фосфаты, увеличилось в 2,2 раза, нитрификаторов – на 60%, микроорганизмов, утилизирующих органические соединения азота на МПА, – на 39, потребляющих минеральный азот на КАА – на 73% в сравнении с контролем. Целлюлозолитическая активность почвы под посевом озимой пшеницы в вариантах $N_{15}P_{23}$ + инокуляция и $N_{15}P_{23}$ + солома + инокуляция возросла до 66,5–67,0%, превысив контроль в 1,7 раза. Наибольшая прибавка зерна культуры была получена при сочетании минеральных, органического (соломы) и бактериального (ризоагрин) удобрений – 40,3% к контролю. Дополнительный вынос азота урожаем озимой пшеницы за счет деятельности ассоциативных диазотрофов составил от 6 до 16,5 кг/га. Между показателями урожайности культуры и численностью микроорганизмов в ризосфере установлены коррелятивные зависимости сильной ($r=0,84-0,91$) и средней ($r=0,62-0,72$) степени. Наиболее тесная связь имела место между величиной урожайности зерна озимой пшеницы и количеством бактерий, растущих на МПА, в т.ч. аммонификаторов, а также урожайностью и численностью нитрифицирующих бактерий.

INFLUENCE OF RISOAGRINE SEED INOCULATION ON RHIZOAGRINE MICROFLORA AND WINTER WHEAT YIELDS IN WESTERN SIBERIA FOREST-STEPPE

Khamova O.F., Candidate of Biology, Leading Research Fellow

Tukmacheva E.V., Candidate of Biology, Senior Research Fellow

Balabanova N.F., Candidate of Biology, Leading Research Fellow

Shuliko N.N., Candidate of Biology, Senior Research Fellow

Omsk Research Agricultural Centre, Omsk, Russia

Keywords: winter wheat, fertilizers, soil biological activity, crop yield capacity.

Abstract. The researchers conduct the field stationary experiment with the use of mineral fertilizers and straw in the grain and steam crop rotation with the withdrawal field of alfalfa and study the number of microflora in the rhizosphere of winter wheat of the new variety Priirtyshskaya after treatment of seeds with biospecimen of complex effect - risoagrine. The highest number of useful crop groups of microorganisms was observed in the variant with inoculation of crop seeds by risoagrine on the basis of applying mineral fertilizers, as well as in combination of inoculation techniques, application of mineral fertilizers and straw (N15P23 + straw + inoculation), respectively, 444 and 355 million UU/yr with 217 million UU/yr in the control group. In the variant with inoculation of winter wheat seeds by mineral fertilizers (N15P23 + inoculation), the number of oligonitrophils and bacteria, mineralizing mineral phosphates, increased by 2.2 times, nitrifiers - by 60%, microorganisms that utilize organic nitrogen compounds on MPA - by 39, consuming mineral nitrogen on CAA - by 73% compared to the control group. The celluloseolytic soil activity under winter wheat sowing in variants N15P23 + inoculation and N15P23 + straw + inoculation increased to 66.5-67.0%, exceeded the control group by 1.7 times. The highest increase in the crop's grains was observed in the combination of mineral, organic (straw) and bacterial (risoagrine) fertilizers - 40.3% in comparison with the control group. Additional nitrogen removal by winter wheat crop due to the activity of associative diazotrophs varied from 6 to 16.5 kg/ha. Correlative relations of high ($r=0.84-0.91$) and average ($r=0.62-0.72$) degree of microorganisms in the rhizosphere were observed among the indicators of crop yield and number of microorganisms. The closest correlation took place between the value of winter wheat grain yield and the number of bacteria growing on MPA, including ammonifiers, and the yield and number of nitrifying bacteria.

В 60-х гг. прошлого столетия было открыто явление ассоциативной азотфиксации, суть которого заключается в усвоении бактериями ризосферы азота атмосферы с участием его в питании растений, а также проявлении микроорганизмами защитных функций по отношению к растениям, усилении устойчивости растений к негативным воздействиям – засухе, неблагоприятной pH, высокому содержанию тяжелых металлов и т.д. [1–3]. На основе чистых отселектированных штаммов были созданы биопрепараты комплексного действия, повышающие активность азотфиксации, обладающие положительными вышеперечисленными свойствами ассоциативных азотфиксаторов, спо-

собствующие увеличению продуктивности растений, качества зерна [3].

Ранее проведенными исследованиями (2014–2017 гг.) установлено, что при предпосевной обработке (инокуляции) семян яровой мягкой пшеницы биопрепаратом ризоагрина на основе агробактерий количество дополнительного азота за счет ассоциативной азотфиксации микроорганизмами ризосферы составило в вариантах опыта 11–16 кг/га, прибавка урожайности зерна – 1,5–1,6 ц/га, или 7-9% к контролю [4].

В опытах Н.Н. Шулико (2012–2014 гг.) с ризоагрином в среднем за годы исследований дополнительный вынос азота ячменем в зернопаровом севообороте за счет ассоциа-

тивной азотфиксации составил 11,8 кг/га, а в наиболее благоприятных условиях – 30 кг/га азота атмосферы. Применение инокуляции увеличило белковость зерна ячменя на 1,5 % в сравнении с контролем. На фоне минеральных удобрений и соломы повышение содержания белка в продукции и его сбор с гектара были выше контроля на 2,7 % и 0,15 т/га соответственно [5].

В Омской области озимая пшеница занимает около 10 тыс. га. Распространение ее сдерживается полным или частичным вымерзанием в неблагоприятные годы перезимовки. Преимущества озимых культур перед яровыми известны и совершенно очевидны. Они превосходят яровые культуры по продуктивности, качеству и питательной ценности зерна, более эффективно используют биоклиматические ресурсы региона. В структуре посевных площадей озимая пшеница может занимать до 15 %, а урожайность достигать 50–60 т/га зерна [6]. В этой связи для увеличения производства продовольственного зерна необходимо расширение посевов новых высокопродуктивных сортов озимых культур, совершенствование агротехнологий с использованием более дешевого и экологически безопасного биологического азота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В опыте с озимой пшеницей для предпосевной обработки семян был использован биопрепарат на основе *Agrobacterium radiobacter* шт. 204 (ВНИИСХМ, г. Пушкин) из расчета 600 г на гектарную норму семян. Делянка площадью 200 м² делилась пополам для посева неинокулированными и инокулированными семенами. Повторность – четырехкратная. Предшественник – пар. В течение вегетации по фазам развития культуры (кущение, колошение, налив зерна) проводился отбор проб ризосферы для микробиологического анализа. Опыт трехфакторный: фактор А – фон с внесением минеральных удобрений N₁₅P₂₃, фактор В – солома, фактор С – инокуляция.

Численность микроорганизмов в ризосфере культуры учитывалась путем посева на твердые питательные среды: мясопептонный агар (МПА) для бактерий, утилизирующих органические соединения азота; крахмало-аммиачный (КАА) – для микроорганизмов, потребляющих минеральный азот (NH₃); среда Муромцева-Герретсена – для бактерий, мобилизующих минеральные фосфаты; среда Мишустинной – для олигонитрофилов; среда Гетчинсона – для целлюлозоразрушающих микроорганизмов; водный выщелоченный агар с добавлением двойной аммонийно-магниевого соли фосфорной кислоты – для нитрификаторов; подкисленная среда Чапека – для грибов [7]. Азот нитратов определялся по Грандваль-Ляжу с дисульфофеноловой кислотой, подвижный фосфор – по В.А. Францесону [8], интенсивность разложения целлюлозы в почве – аппликационным методом по Л.Д. Тихомировой [9].

Полевой опыт закладывался на основе шестипольного зернопарового севооборота с выводным полем люцерны. В опыте использован новый сорт пшеницы селекции Омского АНЦ Прииртышская. Этот сорт отличается высокой урожайностью, зимостойкостью и устойчивостью к полеганию. Зерно соответствует требованиям ценной пшеницы. Сорт Прииртышская включен в Государственный реестр селекционных достижений по Восточно-Сибирскому региону.

Цель исследований – оценить влияние одного из агротехнологических приемов – предпосевной обработки семян озимой пшеницы биопрепаратом ассоциативных азотфиксаторов – на биологическую активность ризосферы культуры и ее урожайность: отдельно и на фоне умеренной дозы минеральных удобрений (N₁₅P₂₃ на 1 га севооборотной площади), а также при заделке соломы предшествующих зерновых культур.

Почва – лугово-черноземная среднесуглинистая с содержанием гумуса 6,8%. Обеспеченность пахотного слоя азотом нитратов перед посевом – высокая, подвижным фосфором и калием – очень высокая.

Погодные условия вегетационного периода 2018 г. отличались достаточным увлажнением. ГТК за май – август составил 1,31 при норме 1,10. Засушливыми были первая и вторая декады июля (ГТК июля 0,75).

За период май – август 2019 г. количество осадков было близко к норме (206 мм) и составило 193 мм. Температура воздуха соответствовала средней многолетней ($16,5^{\circ}\text{C}$ при норме $16,7^{\circ}\text{C}$) с отклонением $0,2^{\circ}\text{C}$. ГТК за май – август 2019 г. составил 0,99, т.е. практически соответствовал норме. Зимние периоды лет исследований были снежными, умеренно холодными. Вымерзания посевов не наблюдалось.

Таким образом, погодные условия вегетационных периодов лет исследований (2018–2019 гг.) были благоприятными для роста озимых зерновых культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди вариантов опыта наиболее высокой общей численностью микроорганизмов выделялись следующие: инокуляция семян озимой пшеницы на фоне $\text{N}_{15}\text{P}_{23}$, а также с применением минеральных ($\text{N}_{15}\text{P}_{23}$), органических (солома) и бактериальных (ризогрин) удобрений – соответственно 444 и 355 млн КОЕ/г при 217 млн КОЕ/г в контроле (табл. 1).

В варианте с внесением соломы предшествующих культур, в том числе растительных остатков люцерны, общая численность микроорганизмов в ризосфере озимой пшеницы возросла на 21% к контролю. В исследованиях Н.А. Воронковой, проведенных в этом же стационарном опыте в 1990–1994 гг., запахивание измельченной соломы при включении в севооборот бобовых (люцерны 50%) обогащает почву биологическим азотом, доля которого в приходной статье баланса по сравнению с зернопаровым севооборотом более 80% [10], что и стимулировало рост численности микроорганизмов.

Запахивание соломы на фоне внесения минеральных удобрений в еще большей сте-

пени (на 34,5% к контролю) способствовало увеличению общего количества микроорганизмов ризосферы озимой пшеницы.

Достоверным являлось в опыте сочетание влияния всех изучаемых видов удобрений – минеральных $\text{N}_{15}\text{P}_{23}$, органических (солома), бактериальных (ризогрин) на общую численность определяемой микрофлоры, что связано с увеличением массы растительных остатков в пахотном слое почвы, а также дополнительным азотом симбиотической (люцерны) и ассоциативной (ризосфера культуры) азотфиксации.

Внесение минеральных удобрений стимулировало существенный рост численности бактерий-сапрофитов на МПА, разлагающих органические азотсодержащие соединения в почве, – на 12–39% к контролю. Судя по соотношению групп МПА/КАА (более 1,0) в ризосфере озимой пшеницы преобладали иммобилизационные процессы. Наиболее высоким коэффициент трансформации органического вещества (Пм), рассчитанный по методике В.Д. Муха (1980) в изложении Л.Н. Коробовой [11], был в варианте с внесением минеральных удобрений на фоне заделки соломы с применением инокуляции семян (76,8 при уровне в контроле 58,6). Максимальная интенсивность минерализационных процессов по соотношению групп микроорганизмов КАА/МПА (коэффициент минерализации) была отмечена в вариантах с внесением соломы, минеральных удобрений и соломы, минеральных удобрений и инокуляции семян.

Олигонитрофилы среди определяемых почвенных микроорганизмов являются самой многочисленной группой. Их количество колебалось от 90,3 млн в контроле до 154–198 млн КОЕ/г в вариантах опыта. И.Л. Клевенской (1974) были проведены исследования этой широко распространенной в природе группы микроорганизмов. По сделанным ею выводам, особенностями олигонитрофилов являются их способность развиваться при низком уровне связанного азота в среде, а также использовать азот атмосферы [12]. В наших исследованиях количество олигонитрофилов при применении соломы воз-

Таблица 1

Численность микроорганизмов в ризосфере озимой пшеницы в зависимости от применения минеральных, органических и бактериальных удобрений (средняя из трех определений за вегетацию, 2018–2019 гг.)
The number of microorganisms in winter wheat rhizosphere in relation to mineral, organic and bacterial fertilizers (average of 3 parameters during the vegetation in 2018-2019)

Показатели	Вариант							
	кон- троль	соло- ма	иноку- ляция	солома + иноку- ляция	$N_{15}P_{23}$	$N_{15}P_{23} +$ солома	$N_{15}P_{23} +$ иноку- ляция	$N_{15}P_{23} +$ со- лома +ино- куляция
Бактерии, утилизирующие ор- ганический азот на МПА, млн КОЕ/г	27,7	27,0	29,0	30,0	31,1	33,7	38,4	36,2
	HCP ₀₅ A, B, C =4,0 HCP ₀₅ AB, AC, BC = 5,7 HCP ₀₅ ABC=8,0							
Микроорганизмы, потребля- ющие минеральный азот на КАА, млн КОЕ/г	24,7	29,4	26,9	23,0	29,2	37,3	42,8	32,4
	HCP ₀₅ A, B, C =4,9 HCP ₀₅ AB, AC, BC = 7,0 HCP ₀₅ ABC=9,9							
Олигонитрофилы, млн КОЕ/г	90,3	115,4	87,2	93,6	99,5	120,8	198,4	154,1
	HCP ₀₅ A, B, C =20,0 HCP ₀₅ AB, AC, BC = 28,3 HCP ₀₅ ABC=39,1							
Фосфатмобилизующие, млн КОЕ/г	74,2	90,5	84,7	77,7	91,6	99,9	164,7	132,1
	HCP ₀₅ A, B, C =24,0 HCP ₀₅ AB, AC, BC = 33,0 HCP ₀₅ ABC=47,0							
Нитрификаторы, тыс. КОЕ/г	3,32	2,92	2,67	2,68	4,67	3,96	4,66	5,31
	HCP ₀₅ A, B, C =0,69 HCP ₀₅ AB, AC, BC = 0,98 HCP ₀₅ ABC=1,38							
Грибы, тыс. КОЕ/г	60,5	77,3	87,0	90,7	74,7	84,7	87,5	76,0
	HCP ₀₅ A, B, C =18,8 HCP ₀₅ AB, AC, BC = 26,6 HCP ₀₅ ABC=37,6							
Общее количество микроорга- низмов, млн КОЕ/г	217,1	262,5	227,9	224,5	251,6	291,9	444,4	355,0
	HCP ₀₅ A, B, C =42,2 HCP ₀₅ AB, AC, BC = 59,6 HCP ₀₅ ABC=84, 3							
КАА/МПА – коэффициент минерализации	0,89	1,08	0,93	0,77	0,94	1,10	1,11	0,90
МПА/КАА – коэффициент иммобилизации	1,12	0,92	1,07	1,30	1,07	0,90	0,90	1,12
Пм (МПА+КАА · МПА/КАА) – коэффициент трансформа- ции органического вещества	58,6	51,9	59,8	69,0	64,3	64,0	73,0	76,8

растало на 27–34% к контролю, в варианте с инокуляцией на фоне удобрений – на 119,7%, под влиянием всех видов применяемых удобрений – на 70,6% к контролю. Можно предположить, что при таком значительном росте численности олигонитрофилов увеличивается и их азотфиксирующая способность, а значит, и обеспеченность почвы доступным азотом.

Количество фосфатмобилизующих бактерий было в среднем за вегетационный период наиболее высоким в вариантах с инокуляцией семян на фоне минеральных удобрений и на этом же фоне с дополнительным внесением соломы, что свидетельствует о положительном влиянии инокуляции семян ассоциативными азотфиксаторами на фосфатный режим питания растений.

Количество нитрификаторов на неудобренном фоне составило 2,7–3,3 тыс. КОЕ/г, при внесении минеральных азотно-фосфорных удобрений оно увеличилось до 4,0–5,3 тыс. КОЕ/г. Наибольшая численность нитрифицирующих бактерий была отмечена в варианте с применением разных видов удобрений (минеральных, органических, бактериальных), видимо, не только за счет трансформации азота почвы и удобрений, но и вследствие дополнительной фиксации азота атмосферы.

Численность почвенных грибов в наибольшей степени возрастала в вариантах с инокуляцией семян озимой пшеницы (43,6–49,9% к контролю), а также при внесении соломы и минеральных удобрений – на 23,5–40% к контролю, составляя 60,5–90,7 тыс. КОЕ/г.

Интенсивность разложения целлюлозы в почве является интегрированным показателем ее биологической активности, зависящим от сложившегося уровня плодородия, погодных условий вегетационного периода. Наиболее высокой целлюлозолитическая активность была в варианте с применением инокуляции семян на фоне удобрений – 66,5–67,0%, а в контроле лишь 38%, что связано с обеспеченностью почвы азотом минеральных удобрений и дополнительным за счет ассоциативной азотфиксации (табл. 2).

Таким образом, инокуляция семян озимой пшеницы биопрепаратом комплексного действия – ризоагрином на фоне внесения минеральных удобрений и соломы ($N_{15}P_{23}$ + солома + инокуляция) стимулировала рост общей суммарной численности определяемых групп микроорганизмов в ризосфере

культуры на 63,5% к контролю. Увеличилось в 2,2 раза относительно контроля количество олигонитрофилов и бактерий, мобилизующих минеральные фосфаты, на 60% – численность нитрификаторов, а также других представителей микрофлоры ризосферы озимой пшеницы. Инокуляция способствовала росту общего количества микроорганизмов на фоне применения минеральных удобрений. В варианте $N_{15}P_{23}$ + инокуляция интенсивность разложения целлюлозы в почве усилилась в 1,7 раза в сравнении с контролем.

Урожайность зерна озимой пшеницы в вариантах с применением комплекса разных видов удобрений (минеральных, органических, бактериальных), была наиболее высокой в сравнении с контролем – 4,8–4,9 т/га (прибавка от 26,3 до 40,3% к контролю). Запашка соломы в чистом виде, а также инокуляция се-

Таблица 2

Интенсивность разложения целлюлозы в почве под посевом озимой пшеницы и урожайность культуры (среднее за 2018–2019 гг.)

Cellulose decomposition intensity rate in the soil under winter wheat and its crop yield capacity (average in 2018–2019)

Вариант	Разложение целлюлозы, %	Урожайность зерна, т/га	Прибавка	
			т/га	%
Контроль	38,8	3,50	-	-
Солома	51,0	3,45	-	-
Инокуляция	42,6	3,53	0,03	0,9
Солома + инокуляция	60,1	3,64	0,14	4,0
$N_{15}P_{23}$	41,7	4,79	1,29	36,9
$N_{15}P_{23}$ + солома	61,1	4,88	1,38	39,4
$N_{15}P_{23}$ + инокуляция	66,5	4,75	1,25	26,3
$N_{15}P_{23}$ + солома + инокуляция	67,0	4,91	1,41	40,3
HCP ₀₅ А, В, С	12,4	-	0,23	-
HCP ₀₅ ABC	24,8	-	0,46	-

мян без внесения минеральных удобрений не привели к существенному росту урожайности культуры (см. табл. 2).

Были просчитаны корреляционные связи урожайности пшеницы с численностью каждой из определяемых групп микроорганизмов. Сильная взаимосвязь имела место между величиной урожайности культуры и численностью аммонификаторов, растущих на МПА, а также нитрифицирующих бактерий ($r = 0,84$ и

0,91 соответственно). Судя по коэффициенту детерминации ($d_{yx} = 0,71$ и 0,83) примерно на 71% величина урожайности была обусловлена изменениями в численности сапрофитных бактерий на МПА, на 83% – изменениями в количестве нитрификаторов, поскольку именно эти группы микроорганизмов обеспечивают растения доступной азотной пищей.

Зависимость средней степени была получена между урожайностью зерна озимой

пшеницы и общим количеством определяемой микрофлоры, а также численностью микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме на КАА, мобилизующих минеральные фосфаты, олигонитрофилов ($r = 0,62-0,72$).

По результатам определения общего азота в растениях пшеницы было рассчитано количество азота атмосферы, усвоенного растениями за счет ассоциативной азотфиксации. Работа ассоциативных диазотрофов в большей степени проявилась на удобренных фонах, при этом активизировалось поглощение почвенного азота растениями. По мнению А.А. Завалина, увеличение выноса азота с урожаем связано с вовлечением в агроценоз биологического азота, фиксированного микроорганизмами, входящими в состав биопрепаратов, а также продуцированием ими физиологически активных веществ, что приводит к усилению потребления инокулированными растениями элементов питания из почвы и удобрений [13]. В наших исследованиях в вариантах опыта, где были внесены минеральные удобрения ($N_{15}P_{23}$) и проводилась инокуляция семян, вынос азота увеличился на 6,0–16,1 кг/га.

Учитывая данные, полученные Н.Н. Шулико (2012–2014 гг.) по ячменю, а также результаты исследований 2014–2017 гг. по яровой мягкой пшенице, где количество дополнительного азота атмосферы в питании растений составило 11–16 кг/га [4, 5], можно предположить, что в зависимости от погодных условий, фона минерального питания растений, вида культуры величина ассоциативной азотфиксации для зерновых культур при обработке семян биопрепаратом комплексного действия ризоагрином на лугово-черноземных почвах Омского Прииртышья колеблется от 6 до 16 кг/га, в отдельные благоприятные годы достигая 30 кг/га.

В условиях лесостепи Приобья исследованиями Г.П. Гамзикова, П.Р. Шотт установлено, что активность азотфиксации в ризосфере ячменя и пшеницы после обработки семян биопрепаратом возрастает в 1,5–2,0 раза, а прибавка урожая составляет в среднем 20–

30% [14, 15]. Дополнительный вынос азота растениями пшеницы после инокуляции составил 6,9–15,3 кг/га [16], что соответствует данным, полученным для зерновых культур на черноземной почве Омского Прииртышья (6,0–16,1 кг/га).

Полученный эффект инокуляции равенцен внесению 20–30 кг минерального азота при экологическом и экономическом преимуществе биопрепаратов.

ВЫВОДЫ

1. Общая численность определяемых групп микроорганизмов в ризосфере озимой пшеницы составила 217,1–444,4 млн КОЕ/г, достигая наибольшей величины в вариантах с внесением минеральных удобрений и инокуляцией семян перед посевом ($N_{15}P_{23}$ + инокуляция), а также при сочетании минеральных, органических (солома) и бактериальных (ризоагрин) удобрений, – соответственно 444 и 355 млн КОЕ/г.

2. Количество олигонитрофилов, а также фосфатмобилизующих бактерий в ризосфере культуры в варианте $N_{15}P_{23}$ + инокуляция увеличилось в сравнении с контролем в 2,2 раза, нитрификаторов – на 40%, микроорганизмов, растущих на средах МПА и КАА, – соответственно на 38,6 и 73,3% к контролю, что способствовало улучшению режима питания растений и повышению урожайности культуры. Наибольшая численность нитрифицирующих бактерий – 5,3 тыс. КОЕ/г установлена в варианте с применением разных видов удобрений: $N_{15}P_{23}$ + солома + инокуляция.

3. Интенсивность разложения целлюлозы в почве под посевом озимой пшеницы, как интегрированный показатель биологической активности, была наиболее высокой в варианте с применением инокуляции семян на фоне внесения минеральных удобрений ($N_{15}P_{23}$ + инокуляция), а также минеральных удобрений и соломы ($N_{15}P_{23}$ + солома + инокуляция), составляя 66,5–67,0% при 38,8% в контроле.

4. Применение азотно-фосфорных минеральных удобрений способствовало повышению урожайности зерна озимой пшеницы на 26,3–40,3%, в т.ч. в сочетании с запашкой соломы – на 39,4%, при инокуляции семян на фоне внесения минеральных удобрений и соломы – на 40,3% при уровне в контроле 3,5 т/га.

5. Дополнительное количество азота, фиксированного микроорганизмами ризосферы озимой пшеницы, в вариантах с инокуляцией биопрепаратом составило 6–16 кг/га.

6. Между величиной урожайности озимой пшеницы и показателями численности микроорганизмов в ризосфере культуры установлена взаимосвязь сильной ($r=0,84-0,91$) и средней степени ($r=0,62-0,72$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. – СПб.: С.-Петербург. ун-т, 2009. – 210 с.
2. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия / под ред. А.А. Завалина, А.П. Кожемякова. – СПб.: Химиздат, 2010. – 64 с.
3. Белимов А.А. Взаимодействия ассоциативных бактерий с растениями: роль абиотических и биотических факторов: монография. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 221 с.
4. Хамова О.Ф., Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В. Руководство по применению биопрепаратов ассоциативной азотфиксации в ресурсосберегающих технологиях: метод. указания / Отд-ние с.-х. науки РАН, ФГБНУ Омский АНЦ. – Омск: ИП Макшеевой Е.А., 2018. – 12 с.
5. Биологическая активность лугово-черноземных почв Омского Прииртышья / О.Ф. Хамова, Л.В. Юшкевич, Н.А. Воронкова [и др.]. – Омск: Омскбланкиздат, 2019. – 94 с.
6. Результаты селекции озимой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири / Ю.Н. Кашуба, А.Н. Ковтуненко, В.М. Трипутин [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 1(61). – С. 32–34.
7. Теплер Е.З. Практикум по микробиологии: учеб. пособие для вузов / под ред. В.К. Шильниковой. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.
8. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 655 с.
9. Тихомирова Л.Д. Биологический метод определения плодородия почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1973. – № 5. – С. 15–18.
10. Воронкова Н.А. Биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности агроценозов Западной Сибири: монография. – Омск: ОмГТУ, 2014. – 188 с.
11. Научно-методические рекомендации по использованию микробиологических показателей для оценки состояния пахотных почв Сибири / Л.Н. Коробова, А.В. Танатова [и др.]. – Новосибирск: НГАУ, 2013. – 39 с.
12. Клевенская И.Л. Олигонитрофильные микроорганизмы почв Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – 219 с.
13. Завалин А.А. Использование небобовыми растениями элементов питания при инокуляции семян биопрепаратами комплексного действия // Биологические источники элементов минерального питания растений: III Сибирские агрохимические Прянишниковские чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 12–16 июля) / РАСХН. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2006. – С. 47–54.
14. Гамзиков Г.П., Шотт П.Р. Эффективность препаратов ризосферных бактерий при внесении под пивоваренный ячмень // Доклады РАСХН. – 2005. – № 1. – С. 29–32.
15. Шотт П.Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. – Барнаул: Алт. НИИ сел. хоз-ва, 2007. – 169 с.
16. Шотт П.Р., Литвинцев П.А. Биологический азот в питании однолетних полевых культур // Биологические источники элементов минерального питания растений: III Сибирские агрохимические Прянишниковские чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 12–16 июля) / РАСХН. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2006. – С. 186–191.

REFERENCES

1. Tikhonovich I.A., Provorov N.A. *Simbiozy rastenii i mikroorganizmov: molekulyarnaya genetika agrosistem budushchego* (Symbioses of plants and micro-organisms: molecular genetics of future agro-systems), Saint Petersburg: Saint Peter. Un-ty, 2009, 210 p.
2. Zavalina A.A., Kozhemyakova A.P. *Novye tekhnologii proizvodstva i primeneniya biopreparatov kompleksnogo deistviya* (New technologies for the production and use of complex biological products), Saint Petersburg: KhIMIZDAT, 2010, 64 p.
3. Belimov A.A. *Vzaimodeistviya assotsiativnykh bakterii s rasteniyami rol' abioticheskikh i bioticheskikh faktorov* (Interactions of associative bacteria with plants the role of abiotic and biotic factors), Saarbrücken: Palmarium, 2012, 221 p.
4. Khamova O.F., Shuliko N.N., Tukmacheva E.V. *Rukovodstvo po primeneniyu biopreparatov assotsiativnoi azotfiksatsii v resursosberegayushchikh tekhnologiyakh: metodicheskie ukazaniya* (Guidelines for the use of biologics of associative nitrogen fixation in resource-saving technologies), Omsk: IP Maksheevoi E.A., 2018, 12 p.
5. Khamova O.F., Yushkevich L.V., Voronkova N.A., Boiko V.S., Shuliko N.N. *Biologicheskaya aktivnost' lugovo-chernozemnykh pochv Omskogo Priirtysh'ya* (Biological activity of meadow-Chernozem soils of the Omsk Priirtyshye), Omsk: Omskblankizdat, 2019, 94 p.
6. Kashuba Yu.N., Kovtunen A.N., Triputin V.M., Shvartskopf T.V., Mazepa N.G. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2019, No. 1(61), pp. 32-34. (In Russ.)
7. Tepper E.Z. *Praktikum po mikrobiologii uchebnoe posobie dlya vuzov* (Workshop on Microbiology textbook for higher education institutions), Moscow: Drofa, 2004, 256 p.
8. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* (Agrochemical methods of soil research), Moscow: Nauka, 1975, 655 p.
9. Tikhomirova L.D., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 1973, No. 5, pp. 15-18. (In Russ.)
10. Voronkova N.A. *Biologicheskie resursy i ikh znachenie v sokhranении pochvennogo plodorodiya i povyshenii produktivnosti agrotsenozov Zapadnoi Sibiri* (Biological resources and their importance in maintaining soil fertility and productivity of agricultural lands in West Siberia), Omsk: OmSTU, 2014, 188 p.
11. Korobova L.N., Tanatova A.V., Ferapontova S.A., Shindelov A.V. *Nauchno-metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu mikrobiologicheskikh pokazatelei dlya otsenki sostoyaniya pakhotnykh pochv Sibiri* (Scientific and methodological recommendations on the use of microbiological indicators to assess the state of arable soils in Siberia), Novosibirsk: NSAU, 2013, 39 p.
12. Klevenkaya I.L. *Oligonitrofil'nye mikroorganizmy pochv Zapadnoi Sibiri* (Oligonitrophilic microorganisms of soils of Western Siberia), Novosibirsk: Nauka, 1974, 219 p.
13. Zavalin A.A. *Biologicheskie istochniki elementov mineral'nogo pitaniya rastenii* (Biological sources of elements of mineral nutrition of plants), *Proceedings of the International scientific and practical conference III Siberian agrochemical Pryanishnikova reading* (Omsk, July 12-16), Novosibirsk: RASKHN. Sib. Otd-e, 2006, pp. 47-54. (In Russ.)
14. Gamzikov G.P., Shott P.R., *Doklady RASKhN*, 2005, No. 1, pp. 29-32. (In Russ.)
15. Shott P.R. *Fiksatsiya atmosfernogo azota v odnoletnikh agrotsenozakh* (Atmospheric nitrogen fixation in annual agrocenoses), Barnaul: Altai research Institute of agriculture, 2007, 169 p.
16. Shott P.R., Litvintsev P.A. *Biologicheskie istochniki elementov mineral'nogo pitaniya rastenii* (Biological sources of elements of mineral nutrition of plants), *Proceedings of the International scientific and practical conference III Siberian agrochemical Pryanishnikova reading* (Omsk, July 12-16), Novosibirsk: RASKHN. Sib. Otd-e, 2006, pp. 186-191. (In Russ.)