

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ РИЗОСФЕРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ПРОДУКТИВНОСТИ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОЙ (*x TRITICOSECALE WITTM. EX A. CAMUS*) ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ

© 2026 Гамзаева Р. С.¹, Бекиш Л. П.² ✉

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
(г. Пушкин, Российская Федерация)

²Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» –
филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха
(д. Белогорка, Российская Федерация)
✉ melinda_08@mail.ru

Реферат. Освоение методов управления микробиотой для оптимизации биологической продуктивности растений – перспективное направление современного земледелия. Цель исследования – анализ изменений численности различных эколого-трофических групп микроорганизмов в ризосфере и оценка продуктивности озимой тритикале при использовании микробных препаратов. Работу выполняли в 2021–2023 годы в Ленинградской области на растениях озимой тритикале сорта Билинда. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: без инокуляции (контроль), препараты Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30), Ризобакт РЖФ (*Corynebacterium sp.*, штамм ПБТ 7), МЖФ (*Enterobacter sp.*, штамм ПБТ 3), ФЖФ (*Pseudomonas sp.*, штамм ПБТ 4) и N₁₀₀. Обработку семян проводили в день посева суспензией на основе препаратов с титром 5×10⁹ КОЕ/мл и нормой 1 л на 1 т семян. Почвенные образцы отбирали из зоны ризосферы в фазы кущения, трубкования и молочной спелости. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Метеорологические условия в годы проведения исследований были различными по влагообеспеченности и температуре, но благоприятными для формирования и созревания зерна. Наибольшее в опыте количество аммонификаторов и актиномицетов зафиксировано при использовании Флавобактерина и Ризобакта марки ФЖФ, в то время как целлюлозоразрушающие микроорганизмы проявили активность при применении Мизорина и Ризобакта марки РЖФ. Высокая численность микроскопических грибов отмечена в вариантах с Ризобактом марок РЖФ и МЖФ. Максимальное в опыте количество фосфатмобилизующих микроорганизмов зарегистрировано в варианте с Ризобактом марки ФЖФ. Во всех вариантах отмечено увеличение общего числа олиготрофов, по сравнению с контролем. Наибольшее количество колосков, зерен и их массы зафиксировано в варианте с использованием Мизорина. Прирост к контролю составил 9,8, 27,3 и 33% соответственно.

Ключевые слова: тритикале озимая (*x Triticosecale* Wittm. ex A. Camus), микробиота, ризосфера, микробные препараты, элементы продуктивности.

Для цитирования: Гамзаева Р.С., Бекиш Л.П. Динамика численности микроорганизмов ризосферы и элементы продуктивности тритикале озимой (*x Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) при использовании микробных препаратов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 1(81). С. 21–28. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-1-21-28

RHIZOSPHERE MICROBIOLOGICAL DYNAMICS AND PRODUCTIVITY ELEMENTS OF WINTER TRITICALE (*x TRITICOSECALE WITTM. EX A. CAMUS*) USING MICROBIAL PREPARATIONS

© 2026 Gamzaeva R.S.^a, Bekish L.P.^b ✉

^aSaint Petersburg State Agrarian University
(Pushkin, Russian Federation)

^bLeningrad Research Institute of Agriculture “Belogorka” – Branch of Federal Potato Research Center named after A.G.Lorkh
(Belogorka, Russian Federation)
✉ melinda_08@mail.ru

Abstract. Development of microbiota management methods to optimize plant biological productivity is a promising area of modern agriculture. The aim of this study is to analyze changes in the number of various ecological and trophic groups of microorganisms in the rhizosphere and evaluate the productivity of winter triticales using microbial supplements. The study was conducted from 2021 to 2023 in Leningrad region on Bilinda winter triticales plants. The experimental scheme included the following options: no inoculation (control), Agrofил (*Agrobacterium radiobacter*, strain 10), Mizorin (*Arthrobacter mysorens*, strain 7), Flavobacterin (*Flavobacterium sp.*, strain 30), Rizobact RZhF (*Corynebacterium sp.*, strain PBT 7), MZhF (*Enterobacter sp.*, strain PBT 3), FZhF (*Pseudomonas sp.*, strain PBT 4), and N₁₀₀. Seed inoculation was carried out on the day of sowing with a suspension based

on preparations with a titer of 5×10^9 CFU/ml and a rate of 1 l per 1 ton of seeds. Soil samples were taken from the rhizosphere zone during tillering, booting and milky ripeness phases. The soil of experimental field was sod-podzolic medium loamy. Meteorological conditions during the study years varied in moisture and temperature, but were favorable for grain formation and maturation. The highest numbers of ammonifiers and actinomycetes were recorded with Flavobacterin and Rizobact FZhF brand, while cellulose-degrading microorganisms were active with Mizorin and Rizobact RZhF brand. High numbers of microscopic fungi were observed in the RZhF and MZhF Rizobact variants. The highest number of phosphate-mobilizing microorganisms was recorded with Rizobact FZhF. All treatments showed an increase in the total number of oligotrophs compared to the control. The highest number of spikelets, grains and their weight were observed in Mizorin treatment. The increase over the control was 9.8%, 27.3% and 33%, respectively.

Key words: winter triticale (*x Triticosecale* Wittm. ex A. Camus), microbiota, rhizosphere, microbial preparations, productivity elements

For citation: Gamzaeva RS, Bekish LP. [Rhizosphere microbiological dynamics and productivity elements of winter triticale (*x Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) using microbial preparations]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 1(81). 21-28 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-1-21-28

Введение. Создание эффективных ресурсосберегающих технологий, которые способны поддерживать плодородие почвы сохранить микробное разнообразие агроэкосистем, выступает основной задачей современного земледелия [1, 2, 3]. Применение микробных препаратов на основе ассоциативных ризобактерий в технологии выращивания сельскохозяйственных растений актуально [4, 5].

Ассоциативные ризосферные бактерии фиксируют атмосферный азот, вырабатывают биологически активные вещества, способствуют увеличению устойчивости растений к различным стрессовым факторам, подавлению роста и развития фитопатогенных микроорганизмов [6, 7]. Специфика протекающих в ризосфере процессов, обусловленная составом и активностью микробиоты, играет ключевую роль в формировании продуктивного потенциала растений [4, 8]. Использование экологически безопасных агротехнологий обеспечивает рост количественного и качественного состава продукции, благодаря рациональному применению природного потенциала экосистем [9]. Состояние микробного ценоза, численность микроорганизмов и их биохимическая активность дают возможность оценить изменения условий окружающей среды, некоторые микроорганизмы выступают индикаторами состояния почв и процессов, протекающих в них [10, 11, 12].

Многие вопросы, связанные с изучением микробиологической активности прикорневой зоны тритикале, остаются в значительной степени неразрешенными. Исследование воздействия микробных препаратов, содержащих ассоциативные ризосферные бактерии, на биологическую активность корневой зоны озимой тритикале представляет собой важную задачу.

Цель исследования – анализ изменений численности различных эколого-трофических групп микроорганизмов в ризосфере, а также оценка продуктивности озимой тритикале при использовании микробных препаратов.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в период с 2021 по 2023 годы на опытном поле Ленинградского

НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха». Объектом исследования служили растения озимой тритикале сорта Билинда, который допущен для возделывания в Северо-Западном регионе России.

Почва опытного поля дерново-подзолистая и среднесуглинистая. Содержание гумуса – 2,6...2,8%, подвижных P_2O_5 и K_2O по Кирсанову – соответственно 205...210 и 97...99 мг/кг, рНКСl – 4,5...4,8.

Схема опыта: без инокуляции (контроль); Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10); Мизорин (*Arthrobacter mysoresis*, штамм 7); Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30); Ризобакт марки РЖФ (*Corynebacterium sp.*, штамм ПБТ 7); Ризобакт марки ФЖФ (*Pseudomonas sp.*, штамм ПБТ 4); Ризобакт марки МЖФ (*Enterobacter sp.*, штамм ПБТ 3); N_{100} .

Закладку опытов, отбор почвенных образцов, микробиологические анализы и статистическую обработку данных проводили по общепринятым методикам (Теннер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. Учебное пособие для вузов. М.: Дрофа, 2004. 256 с.; Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.; Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.). Приводим средние данные за годы исследования.

Метеорологические условия в период проведения исследований были различными. Сентябрь 2021 год был суше и холоднее обычного, что компенсировалось более теплым и дождливым октябрём. В первой декаде ноября отмечено прекращение вегетации. Зима была умеренно-морозной. Возобновление вегетации отмечено 22 апреля. Май и начало июня были прохладными, с малым количеством осадков, что задержало развитие растений. Июль и начало августа в целом были благоприятными для формирования и созревания зерна.

Сентябрь 2022 год был более влажным и холоднее обычного. Прекращение вегетации отмечено 19 октября. Зима выдалась с

умеренными морозами. Вегетационный период начался 16 апреля. Вторая половина весны и начало лета отличались прохладной и сухой погодой, с возвратными заморозками. Дальнейшее развитие растений проходило при умеренно теплых условиях с небольшим количеством осадков до конца июля. Первая и вторая декады августа были теплыми и влажными, что способствовало активному наливу зерна и формированию хорошего урожая озимой тритикале.

Сентябрь 2023 год оказался теплым, температура воздуха превышала норму на 3,5°C, а количество осадков способствовало быстрому прорастанию семян и активному росту растений. Завершение вегетации зафиксировано 16 октября. Январь и февраль были в целом

умеренно морозными. Вегетация возобновилась 9 апреля. Весенне-летний период характеризовался теплой погодой. В июне и июле средняя температура воздуха была на 1,8°C выше нормы, а запасы влаги в почве до начала августа находились ниже оптимальных значений. В первой декаде августа выпало значительное количество осадков (180% от нормы), что способствовало хорошему наливу зерна.

Результаты и обсуждение. Аммонифицирующие микроорганизмы считаются индикаторными, поскольку их численность прямо зависит от количества азотсодержащих корневых выделений. Микробные препараты увеличивают численность аммонификаторов (рис. 1).

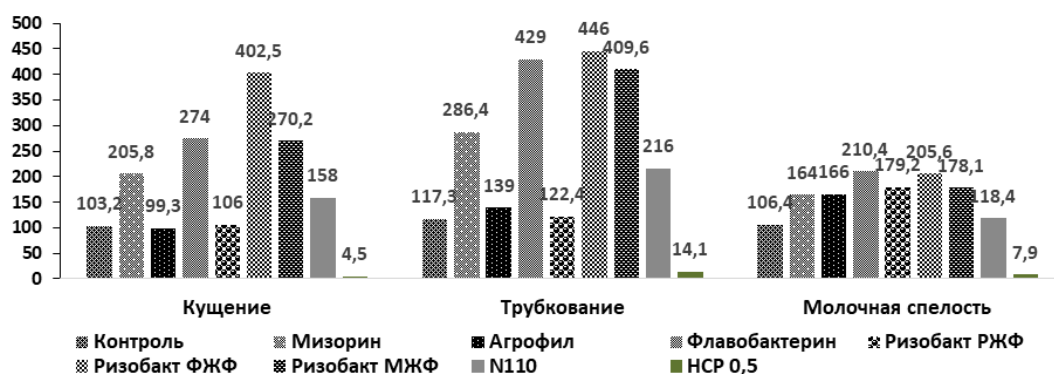


Рис. 1 – Влияние инокуляции семян на численность аммонификаторов ризосферы озимой тритикале, тыс. КОЕ/г.

Fig. 1 – The effect of seed inoculation on the abundance of ammonifying bacteria in the rhizosphere of winter triticale, thousand CFU/g.

Максимальное количество аммонификаторов отмечено в фазе трубкавания, тогда как в фазе молочной спелости их численность значительно уменьшается. В вариантах, где использовались препараты Флавобактерин и Ризобакт марки ФЖФ, уровень аммонификаторов в фазе трубкавания превышает контрольный вариант в 3,7 и 3,8 раза соответственно. Внесение минерального азота оказывало аналогичное микробным препаратам действие на динамику роста и развития аммонификаторов.

Актиномицеты – одна из самых многочисленных групп почвенных микроорганизмов. Они активизируют процесс аммонификации, разлагают углеродсодержащие соединения, а некоторые даже клетчатку. В фазе кущения происходит снижение количества актиномицетов в вариантах, обработанных биопрепаратами Мизорин и Ризобакт марки РЖФ на 7,7 и 22%, а в фазе трубкавания – на 0,6 и 8,6% соответственно, по сравнению с контролем (рис. 2).

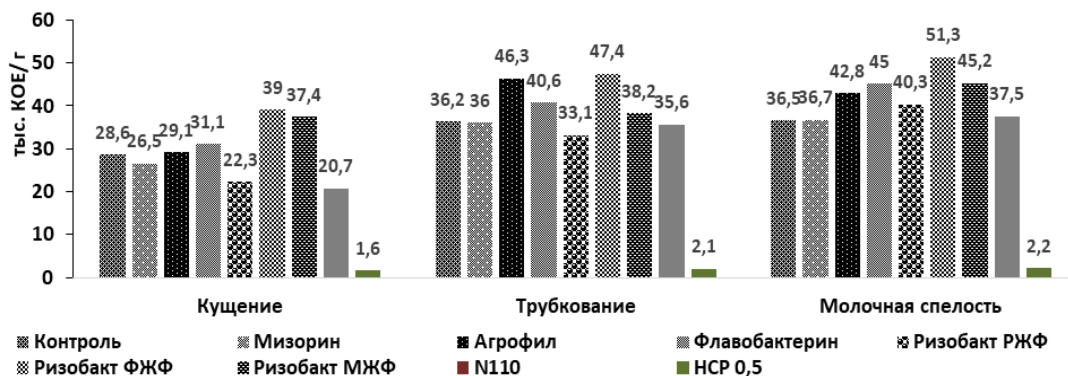


Рис. 2 – Воздействие инокуляции семян на количество актиномицетов в ризосфере озимой тритикале, тыс. КОЕ/г.

Fig. 2 – The effect of seed inoculation on the number of actinomycetes in the rhizosphere of winter triticale, thousand CFU/g.

Максимальный в опыте уровень актиномицетов выявлен на фоне использования Ризобакта марки ФЖФ и Флавобактерина в течение всех изучаемых фаз развития. При внесении минерального азота их численность снижалась относительно контроля в фазы кущения и трубкования на 30 и 1,7% соответственно, а в фазе молочной спелости уровень был выше контроля на 2,8%. Снижение численности актиномицетов на минеральном фоне, вероятно, связано с подкислением среды.

Разложение целлюлозы – ключевое звено почвообразования, определяющее формирование гумуса и структуры почвы, что обуславливает важность изучения целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

Инокуляция семян микробными препаратами и внесение минерального азота вызвали увеличение численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, достигавшее максимального в опыте прироста к фазе молочной спелости (рис. 3).

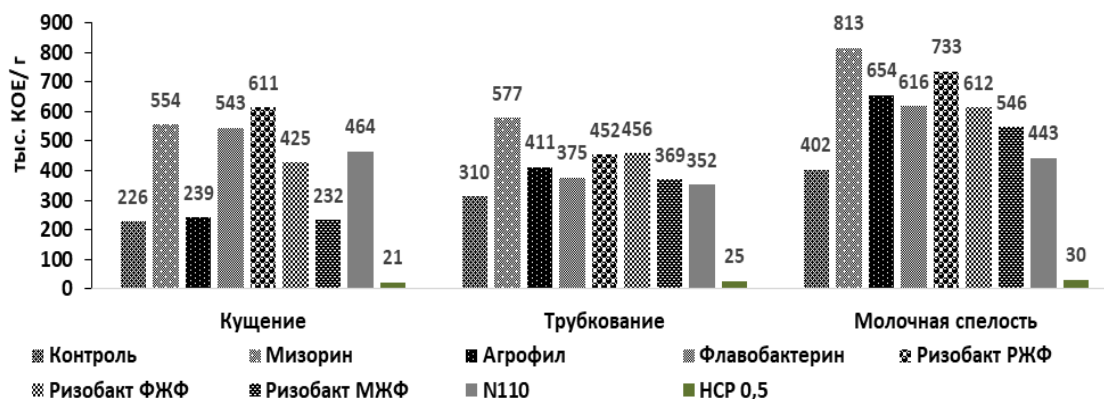


Рис. 3 – Влияние инокуляции семян на численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов ризосферы озимой тритикале, тыс. КОЕ/г.

Fig. 3 – The effect of seed inoculation on the abundance of cellulose-degrading microorganisms in the rhizosphere of winter triticale, thousand CFU/g.

Наиболее благотворно на их рост повлияли микробные препараты Мизорин и Ризобакт марки РЖФ. В фазе молочной спелости, по сравнению с контролем, уровень их увеличения составил 102,2 и 77,3% соответственно.

Фосфатмобилизующие микроорганизмы, особенно те, что обитают в ризосфере, играют ключевую роль в преобразовании фосфорных соединений в почве. Они участвуют в

минерализации фосфорорганических веществ и способствуют превращению нерастворимых минеральных форм фосфора в растворимые. Эти микроорганизмы выступают индикаторами доступности фосфора в питании растений.

Инокуляция семян микробными препаратами оказала неоднозначное влияние на численность фосфатмобилизующих микроорганизмов (рис. 4).

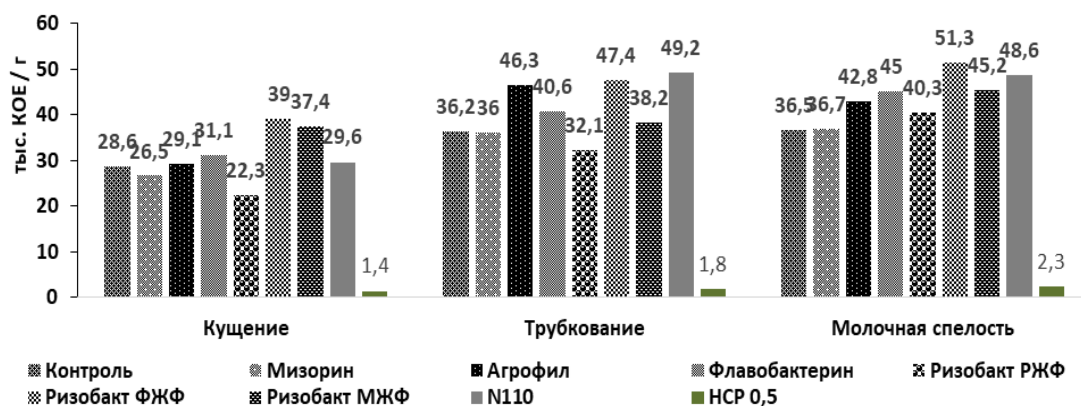


Рис. 4 – Влияние инокуляции семян на численность фосфатмобилизаторов ризосферы озимой тритикале, тыс. КОЕ/г.

Fig. 4 – The effect of seed inoculation on the abundance of phosphate-mobilizing microorganisms in the rhizosphere of winter triticale, thousand CFU/g.

Так, в фазе кущения максимальный в опыте их уровень достигнут при использовании микробных препаратов Ризобакт марки ФЖФ и марки МЖФ, а в вариантах с Агрофилом и Флавобактерином и на минеральном фоне отмечено незначительное увеличение

их численности относительно контроля. Снижение количества микроорганизмов, мобилизующих соединения фосфора, зафиксировано в вариантах с инокуляцией семян Ризобактом марки РЖФ и Мизорином в фазы кущения и трубкования относительно контроля.

В фазе молочной спелости во всех вариантах выявлено увеличение их численности, по сравнению с контролем, достигшее наивысшего в эксперименте уровня в варианте с использованием Ризобакта марки ФЖФ – 51,3 тыс. КОЕ, что соответствует приросту в 40% относительно контроля.

Микромицеты участвуют в образовании

циклических молекул меланинов, которые выступают основой для синтеза компонентов гумусовых соединений.

Применение микробных препаратов привело к росту численности микроскопических грибов. Динамика этого процесса зависела от вида препарата и фазы развития растений (рис. 5).

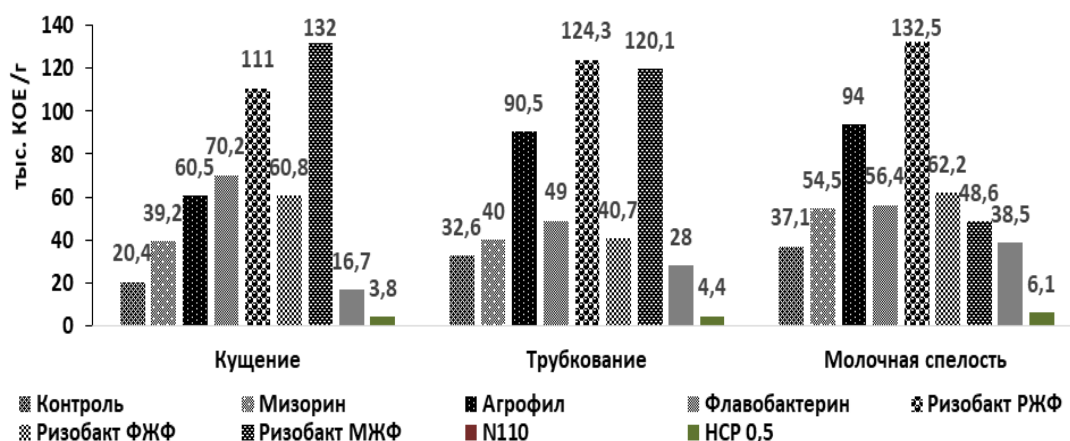


Рис. 5 – Влияние инокуляции семян на численность микромицетов ризосферы озимой тритикале, тыс. КОЕ/г.

Fig. 5 – The effect of seed inoculation on the abundance of micromycetes in the rhizosphere of winter triticale, thousand CFU/g.

Максимальная численность грибов была зафиксирована: в фазе кущения при обработке Ризобактом МЖФ и Мизорином; в фазе трубкавания при применении Агрофила; в фазе молочной спелости при использовании Флавобактерина и Ризобакта РЖФ. Внесение минерального азота во все фазы привело к снижению уровня микромицетов на 20...50%, по сравнению с вариантами применения микробных препаратов. В вариантах с обработкой Ризобактом марки РЖФ и марки МЖФ выявлено максимальное количество грибов в течение всех изученных фаз, превышавшее контрольный вариант в 4...5 раз.

Активное развитие аммонифицирующих и целлюлозолитических микроорганизмов

приводит к быстрому истощению пула легкодоступных органических соединений в ризосфере. Это создает условия для доминирования более устойчивых, сложных органических веществ. Заключительную стадию их разложения осуществляют олиготрофы, чьей ключевой особенностью выступает способность к росту при крайне низкой концентрации доступных органических субстратов. В фазе кущения общая численность олиготрофных микроорганизмов закономерно возрастает во всех вариантах, относительно контроля, достигая максимума в опыте в варианте с внесением минерального азота (3080 тыс. КОЕ/г) и резко снижается в последующие фазы (рис. 6).

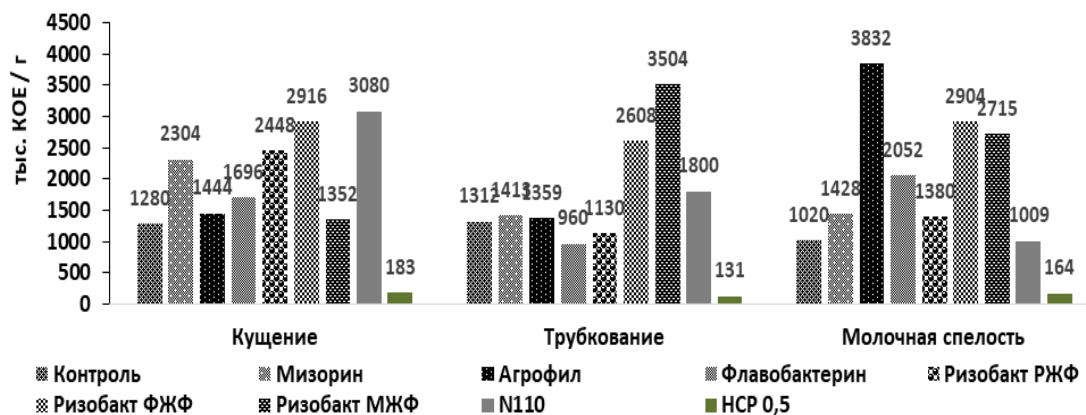


Рис. 6 – Влияние инокуляции семян на общую численность олиготрофов ризосферы озимой тритикале, тыс. КОЕ/г.

Fig. 6 – The effect of seed inoculation on the total abundance of oligotrophs in the rhizosphere of winter triticale, thousand CFU/g.

В фазе трубкования в вариантах с внесением Флавобактерина и Ризобакта марки ФЖФ численность олиготрофов была ниже контроля на 27 и 14% соответственно. Увеличение их численности в этой же фазе выявлено в варианте с Ризобактом марки МЖФ (3504 тыс. КОЕ/г), составившее 167% относительно контроля. В фазе молочной спелости происходит

незначительное увеличение численности олиготрофов во всех вариантах, за исключением варианта с внесением минерального азота.

Урожайность возделываемых культур отражает уровень эффективного плодородия почв. В нашем опыте инокуляция семян способствовала лучшему развитию растений озимой тритикале (см. табл. 1).

Таблица 1 – Влияние микробных препаратов на элементы продуктивности озимой тритикале
Table 1 – The effect of microbial preparations on productivity elements of winter triticale

Вариант	Высота, см	Длина колоса, см	Количество зерен, шт.	Масса зерна с колоса, г	Число колосков в колосе, шт.
Контроль	100,5±1,6	9,6±1,1	44,0±2,4	2,1±0,5	51,0±2,0
Мизорин	108,0±1,5	10,6±1,4	56,0±1,8	2,8±0,5	57,0±2,3
Агрофил	109,0±1,8	9,6±0,8	50,0±1,4	2,7±0,4	54,0±1,8
Флавобактерин	106,1±1,3	10,2±1,4	53,0±2,0	2,4±0,7	53,0±1,6
Ризобакт РЖФ	106,9±2,2	9,1±1,6	49,0±1,6	2,7±0,3	54,0±1,5
Ризобакт ФЖФ	106,2±1,8	9,8±0,9	50,0±1,9	2,4±0,8	55,0±2,1
Ризобакт МЖФ	99,2±1,7	9,6±0,8	41,0±2,3	2,1±0,5	52,0±1,9
N ₁₀₀	104,6±1,8	9,7±0,9	43,0±2,4	2,1±0,4	51,0±2,2
НСР ₀₅	4,2	1,1	3,6	0,1	3,1

Высота растения увеличивалась на 5,6...8,5% относительно контроля в зависимости от вида применяемого препарата, на минеральном фоне – на 4,1%. Высота растений ниже контрольного уровня зафиксирована только в варианте с использованием Ризобакта марки МЖФ, составившая 99,2 см. По длине колоса значительных различий между вариантами не обнаружено. Наивысшая в опыте величина этого показателя зафиксирована при применении Мизорина и составила 10,6 см, что на 10,4% больше, по сравнению с контролем. Также наибольшие значения количества колосков, зерен и массы зерна с колоса отмечены в варианте с Мизорином, прирост которых к контролю составил 27,3, 33,0 и 9,8% соответственно.

Выводы. При использовании изучаемых препаратов наибольшее в опыте количество аммонификаторов и актиномицетов зафиксировано в вариантах с Флавобактерином и Ризобактом марки ФЖФ. Увеличение численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов обеспечивало применение Мизорина и Ризобакта марки РЖФ. В фазе

молочной спелости во всех вариантах отмечено увеличение численности фосфатмобилизирующих микроорганизмов, по сравнению с контролем, причем максимальным в опыте оно было при использовании Ризобакта марки ФЖФ (51,5 тыс. КОЕ), где величина этого показателя превышала контроль на 40%.

В вариантах с Ризобактом марок РЖФ и МЖФ зафиксирован самый высокий уровень численности грибов. Увеличение общего количества олиготрофных микроорганизмов относительно контроля наблюдали при использовании всех изучаемых препаратов. Максимальный в опыте прирост их численности выявлен на минеральном фоне в фазе кущения.

Увеличение высоты растений, по сравнению с контролем, при применении микробных препаратов варьировало от 5,6 до 8,5%, против 4,1% на минеральном фоне. Наибольшее количество колосков, зерен и массы зерна с колоса отмечали в варианте с Мизорином, прирост, по отношению к контролю, составил 27,3, 33,0 и 9,8% соответственно.

Литература

- 1.Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2019. № 8. С. 83–96. doi: 10.1134/S0002188119080143.
- 2.Завалин А. А., Свиридова Л. А. Роль биологического азота в земледелии России // Агрохимия. 2024. № 8. С. 3–8. doi: 10.31857/S0002188124080019.
- 3.Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. Микробиология. М.: Дрофа, 2005. 328 с.
- 4.Чеве́рдин А. Ю. Растительно-микробное взаимодействие ассоциативных диатрофов в посевах озимой пшеницы Центрального Черноземья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 112. С. 187–192. doi: 10.21515/1999-1703-112-187-192.
- 5.Gamzaeva R. S., Bekish L. P. The influence of microbial preparations on the biological activity of the rhizosphere and the productivity of winter triticale // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 480. Art. 03022. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2024/10/e3sconf_eea2023_03022.pdf (дата обращения: 20.08.2025). doi: 10.1051/e3sconf/202448003022.

- 6.Хамова О. Ф. Эффективность применения биопрепаратов ассоциативной азотфиксации в ресурсосберегающих технологиях // *Агрохимия*. 2022. № 9. С. 47–52. doi: 10.31857/s0002188122090083.
- 7.Божко А. А. Биологическая активность почвы ризосферы овса посевного (*Hordeum vulgare* L.) при инокуляции семян ассоциативными диазотрофами // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2019. № 2. С. 60–64. doi: 10.26178/AE.2019.15.54.010.
- 8.Impact of water stress on microbial community and activity in sandy and loamy soils / S. Siebielec, G. Siebielec, A. Klimkowicz-Pawlas, et al. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 9. P. 1–17. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/9/1429> (дата обращения: 20.08.2025). doi: 10.3390/agronomy10091429.
- 9.Biological activity and functional diversity in soil in different cultivation systems / S. Jezierska-Tys, S. Wesolowska, A. Galazka, et al. // *International journal of Environmental Science and Technology*. 2020. Vol. 17. No. 10. P. 4189–4204. doi: 10.1007/s13762-020-02762-5.
- 10.Взаимосвязь состава корневых экссудатов и эффективности взаимодействия растений пшеницы с микроорганизмами / А. И. Шапошников, А. А. Белимов, Т. С. Азарова и др. // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2023. Т. 59. № 3. С. 260–274. doi: 10.31857/S0555109923030170.
- 11.Malynovska I. M. Irection and strength of microbiological processes in layers of gray forest soil under different regimes of management // *Biotechnologia Acta*. 2019. Vol. 12. No. 6. P. 65–70. doi: 10.15407/biotech12.06.065.
- 12.Киселева А. А., Шулико Н. Н. Влияние ассоциативных диазотрофов на численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в ризосфере яровой мягкой пшеницы // *Здоровые почвы – гарант устойчивого развития. Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию Курского государственного университета и 30-летию кафедры биологии и экологии*. Курск, 2024. С. 19–20.

References

1. Zavalin AA, Alferov AA, Chernova LS. [Associative nitrogen fixation and the practice of using biopreparations in agricultural crops]. *Agrokhimiya*. 2019; 8. 83–96 p. doi: 10.1134/S0002188119080143.
2. Zavalin AA, Sviridova LA. [Role of biological nitrogen in agriculture in Russia]. *Agrokhimiya*. 2024; 8. 3–8 p. doi: 10.31857/S0002188124080019.
3. Emtsev VT, Mishustin EN. *Mikrobiologiya*. [Microbiology]. Moscow: Drofa. 2005; 328 p.
4. Cheverdin AYU. [Plant-microbial interaction of associative diazotrophs in winter wheat crops of Central Black Earth region]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024; 112. 187–192 p. doi: 10.21515/1999-1703-112-187-1927.
5. Gamzaeva RS, Bekish LP. The influence of microbial preparations on the biological activity of the rhizosphere and the productivity of winter triticale. [Internet]. *E3S Web of Conferences*. 2024; Vol.480. Art. 03022 p. [cited 2025, August 20]. Available from: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2024/10/e3sconf_eea2023_03022.pdf. doi: 10.1051/e3sconf/202448003022.
6. Khamova OF. [Efficiency of using associative nitrogen fixation biopreparations in resource-saving technologies]. *Agrokhimiya*. 2022; 9. 47–52 p. doi: 10.31857/s0002188122090083.
7. Bozhko AA. [Biological activity of oat (*Hordeum vulgare* L.) rhizosphere soil after seed inoculation with associative diazotrophs]. *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2019; 2. 60–64 p. doi: 10.26178/AE.2019.15.54.010.
8. Siebielec S, Siebielec G, Klimkowicz-Pawlas A. Impact of water stress on microbial community and activity in sandy and loamy soils. [Internet]. *Agronomy*. 2020; Vol.10. No.9. 1–17 p. [cited 2025, August 20]. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/9/1429>. doi: 10.3390/agronomy10091429.
9. Jezierska-Tys S, Wesolowska S, Galazka A. Biological activity and functional diversity in soil in different cultivation systems. *International journal of Environmental Science and Technology*. 2020; Vol.17. No.10. 4189–4204 p. doi: 10.1007/s13762-020-02762-5.
10. Shaposhnikov AI, Belimov AA, Azarova TS. [Relationship between the composition of root exudates and the efficiency of interaction of wheat plants with microorganisms]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2023; Vol.59. 3. 260–274 p. doi: 10.31857/S0555109923030170.
11. Malinovskaya IM. Irection and strength of microbiological processes in layers of gray forest soil under different regimes of management. *Biotechnologia Acta*. 2019; Vol.12. No.6. 65–70 p. doi: 10.15407/biotech12.06.065.
12. Kiseleva AA, Shuliko NN. [Impact of associative diazotrophs on number of cellulose-decomposing microorganisms in the rhizosphere of spring soft wheat. Healthy soil – a guarantor of sustainable development]. *Sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Kurskogo gosudarstvennogo universiteta i 30-letiyu kafedry biologii i ekologii*. Kursk. 2024; 19–20 p.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах:

Гамзаева Рафина Саидметовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии Санкт-Петербургского государственного аграрного университета (196601, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, г Пушкин, ш. Петербургское, д. 2, литера а), e-mail: r.gamzaeva@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4079-1815

Бекиш Любовь Петровна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых культур, многолетних трав и рапса Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, (188338, Российская Федерация, Ленинградская область, р-н Гатчинский, д. Белогорка, ул. Институтская, д.1), e-mail: melinda_08@mail.ru, ORCID 0000-0001-6777-309X

Вклад авторов:

Р.С. Гамзаева, Л.П. Бекиш – разработка концепции и методологии исследования, проведение экспериментальных работ, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование текста, финальное утверждение рукописи. Вклад авторов равнозначный.

Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила 20.02.2025; одобрена после рецензирования 31.03.2026; принята к публикации 01.04.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors:

Gamzaeva Rafina Saidmetovna – Ph.D. of Biological Sciences, Associate Professor of Soil Science and Agrochemistry Department Saint Petersburg State Agrarian University (Peterburgskoe Shosse, 2, litera A, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russian Federation), e-mail: r.gamzaeva@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4079-1815

Bekish Lyubov Petrovna – Ph.D. of Biological Sciences, leading researcher of Department of Breeding and Seed Production of grain, legume crops, perennial grasses and rapeseed Leningrad Research Institute of Agriculture “Belogorka” – Branch of Federal Potato Research Center named after A.G.Lorkh (1 Institutskaya Street, Belogorka Village, Gatchinsky District, Leningrad Region, 188338, Russian Federation), e-mail: melinda_08@mail.ru, ORCID 0000-0001-6777-309X

Contribution of the authors:

R.S. Gamzaeva, L.P. Bekish — development of the research concept and methodology, conducting experimental work, data analysis and interpretation, writing and editing the text, final approval of the manuscript. The authors' contributions are equal.

The authors have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 20.02.2025; revised 31.03.2026; accepted 01.04.2026.

