

ВЛИЯНИЕ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS* НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

М.Ф. Амиров, П.Г. Семенов, Г.Х. Шаймуллина

Реферат. В ходе научного исследования изучалось влияние биопрепаратов на рост и развитие яровой пшеницы сорта Экада 109 (*Triticum aestivum* L.). Особое внимание уделялось обработке семян и вегетирующих растений штаммами эндофитных бактерий *Bacillus velezensis* KS-25 и *Bacillus velezensis* KS-31. Работа проводилась в 2023–2024 годах на опытных полях ООО «Агробιοтехнопарк», входящего в структуру Казанского государственного аграрного университета. Агрохимический анализ почвы показал содержание гумуса на уровне 3,0%, количество подвижного фосфора составило 250 мг/кг (по Кирсанову), а обменного калия – 170 мг/кг, pH — 6,6. Схема опыта: контроль (без обработки); инокуляция семян KS-25 (1 л/т); инокуляция семян KS-31 (1 л/т); листовая обработка KS-25 (1 л/га); листовая обработка KS-31 (1 л/га). Предусматривалась четырёхкратная повторность с последовательным размещением делянок, площадь каждой из которых составляла 24 м². Результаты исследований выявили положительное влияние обработки семян штаммом KS-25 (доза 1 л/т) на накопление сухой биомассы корней и стеблей в течение двух вегетационных сезонов. В 2023 году прирост сухой массы корневой системы достиг 0,13 г, а надземной части – 0,66 г. В 2024 году динамика сохранилась: показатели составили 0,15 г для корней и 0,64 г для стеблей. Применение штамма KS-31 (доза 1 л/га) способствовало повышению сохранности всходов на 2,9% относительно контроля. Проведенные исследования выявили положительное влияние обработки семян изучаемым штаммом на продуктивность яровой пшеницы. В частности, применение препарата в дозировке 1 л/т способствовало увеличению количества продуктивных стеблей на единицу площади. Наибольшая масса зерна с колоса (0,84 г) зафиксирована при обработке KS-25 (1 л/га), что статистически значимо (НСР₀₅=0,04). Максимальная урожайность достигнута при применении KS-31 (1 л/т) — 4,05 т/га (+0,44 т/га к контролю, 12,1%). Содержание сырой клейковины увеличилось на 4,1% при использовании KS-25 и KS-31 (1 л/га).

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), эндофитные бактерии, Экада 109, урожайность, сухая масса, *Bacillus*.

Для цитирования: Амиров М.Ф., Семенов П.Г., Шаймуллина Г.Х. Влияние эндофитных бактерий рода *Bacillus* на продуктивность яровой пшеницы // Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2025. №2 (14). С. 6-12

Введение. На сегодняшний день химические средства защиты растений являются основным инструментом в борьбе с вредными организмами. Их применение позволяет ежегодно сохранять 17-18 миллионов тонн зерна [1, 2, 3]. Однако у химических средств защиты растений существует серьёзная проблема – накопление резистентности к пестицидам [4, 5, 6]. Также важной проблемой является экологическая и токсикологическая безопасность этих средств. Поэтому поиск альтернатив, таких как биологические препараты, становится особенно актуальным [7, 8, 9].

С развитием сельского хозяйства в России активно проводятся научные исследования по созданию биологических препаратов. Для этого создаются научные центры, занимающиеся разработкой этих препаратов и технологий их применения [10, 11].

На сегодняшний день большой интерес у сельскохозяйственных товаропроизводителей вызывают препараты на основе эндофитных бактерий рода *Bacillus* [12, 13, 14]. Эти препараты безопасны для человека, животных и окружающей среде, а также обладают селективным действием, что является немаловажным фактором.

Эндофитные бактерии рода *Bacillus* способствуют растениям в усвоении питательных веществ из почвы и стимулируют их рост за счёт синтеза ростостимулирующих

фитогормонов, таких как индол-3-уксусная кислота (ИУК), гиббереллины и цитокинины. Например, *Bacillus subtilis* усиливает доступность фосфора и азота для растений, выделяя органические кислоты и ферменты (например, фосфатазы), которые растворяют минеральные соединения в почве. Кроме того, эти бактерии синтезируют сидерофоры — низкомолекулярные хелаторы железа, что повышает усвоение железа в условиях его дефицита. Защитная функция *Bacillus* реализуется через несколько механизмов. Во-первых, они продуцируют антибиотики (например, бацитрацин, фенигицин), подавляющие рост фитопатогенных грибов и бактерий. Во-вторых, бактерии выделяют литические ферменты (хитиназы, глюканазы), разрушающие клеточные стенки патогенов. Например, хитиназы *Bacillus amyloliquefaciens* деградируют хитин в клеточных стенках грибов рода *Fusarium*, предотвращая их развитие [15, 16, 17].

Эндофитные бактерии могут оказывать положительное влияние на зерновые культуры, в частности на пшеницу. Они стимулируют рост растений, повышают их устойчивость к различным стрессам, включая абиотические, и способствуют улучшению общего состояния растений. Эти бактерии помогают укрепить защитные механизмы пшеницы, что в свою очередь может привести к увеличению урожайности

и улучшению качества зерна [18, 19].

Основной целью нашего исследования являлась оценка влияния агробιοтехнологических методов, включающих предпосевную обработку семян и внекорневое внесение биопрепаратов в течение вегетационного периода, на ростовые процессы и урожайность яровой пшеницы. В рамках эксперимента изучались реакции растений на применение биологических составов, направленных на оптимизацию ростовых процессов и продуктивности сельскохозяйственной культуры.

Условия, материалы и методы. В качестве объекта исследования использовалась яровая пшеница сорта Экада 109 (*Triticum aestivum* L.). Исследования проводились в 2023–2024 годах на экспериментальных полях ООО «Агробιοтехнопарк» с. Нармонка Лаишевского района, Республики Татарстан. (научно-производственная база Казанского государственного аграрного университета). Почвенные условия участка представлены серыми лесными почвами, характерными для данного агроэкологического региона. Агрохимический анализ пахотного слоя выявил следующие показатели:

содержание гумуса – 3,0% (по Тюрину);
уровень подвижного фосфора (по Кирсанову) – 250 мг/кг (очень высокий);
обменного калия – 170 мг/кг (повышенное содержание);
реакция почвенной среды (рН солевой вытяжки) – 6,6 (близкая к нейтральной).

Объектом изучения выступили два штамма эндофитных бактерий *Bacillus velezensis* (KS-25 и KS-31), выделенные из ризосферы пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в агроэкосистемах Республики Татарстан. Предварительно отобранные по результатам лабораторных тестов, подтвердивших их ростостимулирующую активность в отношении проростков пшеницы.

Схема опыта включала пять вариантов:

1. Контроль (без обработки биопрепаратами);
2. Инокуляция семян штаммом KS-25 (1 л/т семян);
3. Инокуляция семян штаммом KS-31 (1 л/т семян);
4. Листовая обработка вегетирующих растений KS-25 (1 л/га);
5. Листовая обработка вегетирующих растений KS-31 (1 л/га).

В ходе исследования посевы обрабатывали биопрепаратами в фазе выхода растений в трубку. Для обеспечения надёжности результатов полевые испытания повторяли четыре раза. Экспериментальные участки располагались последовательно, каждый имел общую площадь 24 м², из которых 20 м² были учётными. Предшествующей культурой на этих участках был чистый пар. В ходе вегетационного периода яровой пшеницы на этапе кущения осуществлялась гербицидная обработка,

включающей препараты Ластик Экстра КЭ (на основе этофумезата), которую применяли в дозе 1,5 л/га, и Балерина Супер СЭ (метсульфурон-метил + тритосульфурон), которую вносили в дозе 0,20 л/га в фазу кущения яровой пшеницы. Для комплексной оценки эффективности изучаемых агроприемов проводился детальный анализ продуктивности агрофитоценоза, включающий:

определение сохранности растений к уборке;

учет коэффициента продуктивной кустистости;

измерение массы 1000 зерен;

вычисление элементов структуры урожая.

Все исследования проводились в строгом соответствии с методическими рекомендациями Госсортокмиссии РФ. Содержание сырой клейковины определяли согласно ГОСТ 13586.1-2018 «Зерно. Метод определения количества и качества клейковины в пшенице» с использованием лабораторной мельницы и клейковинномоечного аппарата. Уборочные работы проводились при достижении зерном физиологической спелости (фаза восковой спелости, влажность зерна 14%) с использованием зерноуборочного комбайна САМПО-500. Математическая обработка экспериментальных данных выполнялась с применением современных статистических методов. Проведен однофакторный дисперсионный анализ по методике, разработанной профессором Доспеховым Б.А., с последующей оценкой достоверности различий по критерию Стьюдента при 5%-ном уровне значимости.

Агрометеорологические условия в 2023 году оказали выраженное влияние на формирование урожая зерновых культур. Аномалии термического режима в апреле (+6,7°C к климатической норме) спровоцировали интенсивное снеготаяние, что позволило начать посевные работы 25 апреля – на две недели раньше среднестатистических сроков. Майская температура превысила многолетние значения на 1,6°C, создав оптимальные условия для ускоренного развития вегетативной массы пшеницы. Однако в июне наблюдался экстремальный дефицит осадков (11% от нормы), приведший к почвенной засухе. В июле 78% месячной нормы осадков выпало в третьей декаде на фоне понижения температуры, что замедлило налив зерна. В 2024 году погодные факторы также создали стрессовые условия для агроценозов. Первая половина мая характеризовалась пониженными температурами (на 2,1°C ниже нормы), сменившейся резким потеплением в последней декаде (+3,3°C к средним показателям). Осадки в мае соответствовали средне-многолетним значениям, но июньский дефицит влаги (27% от нормы) усилил негативное воздействие на критическую фазу колошения (рис.1).

АГРОНОМИЯ

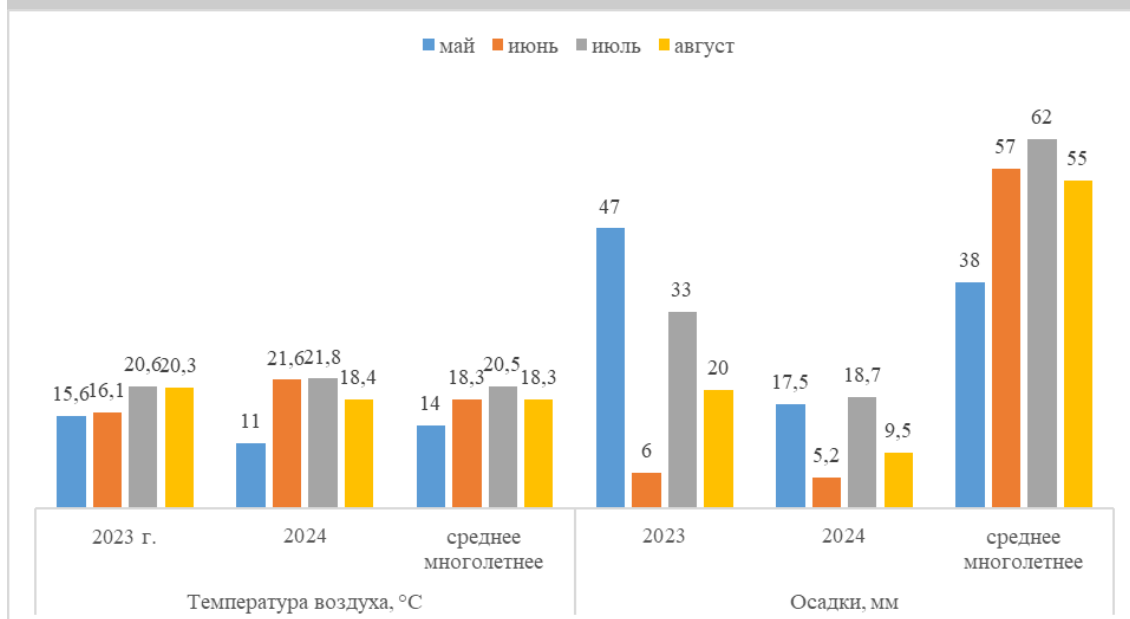


Рисунок 1 – Метеорологические условия в период роста яровой пшеницы в 2023-2024 годах

Результаты и обсуждение. Анализ, проведенный в фазе кущения выявил, что на сухую массу растений напрямую повлияли агрометеорологические условия года, а также прослеживалось действие эндофитных бактерий при обработке семян (рис. 2). За 2023-2024

года наилучшие результаты были получены при применении KS-25 1 л/т, при котором по сравнению с контролем сухая масса корней повысилась в 2023 году на 0,13 г, а в 2024 году на 0,15 г, а масса стебля на 0,66 и 0,64 г, соответственно.

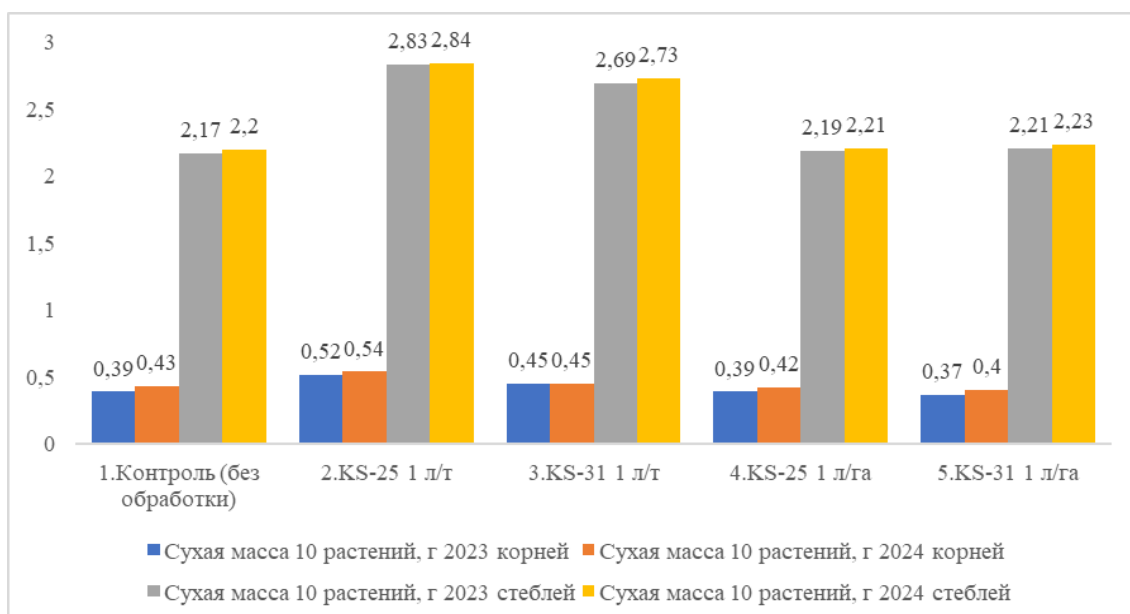


Рисунок 2 – Сухая масса (стеблей, корней) яровой пшеницы сорта Экада 109 в конце фазы кущения, при применении штаммов KS-25 и KS-31, 2023–2024 годы

Проведенные исследования подтвердили существенное влияние биологических препаратов на полевую всхожесть и выживаемость растений. Экспериментальные данные показали, что обработка семян препаратом KS-31 в дозе 1 л/т способствовала достоверному увеличению всхожести на 1,7% по сравнению с контролем. Наибольшая эффективность в отношении сохранности наблюдалась при внесении

того же препарата в норме 1 л/га, что свидетельствует о его положительном воздействии на начальные этапы онтогенеза сельскохозяйственных культур. После обработки посевов этим препаратом, сохранность растений увеличилась на 2,9%. Также было отмечено улучшение показателей выживаемости растений при использовании препарата KS-25 в дозах 1 литр на тонну и 1 литр на гектар по сравнению с контролем (рис.3).

АГРОНОМИЯ

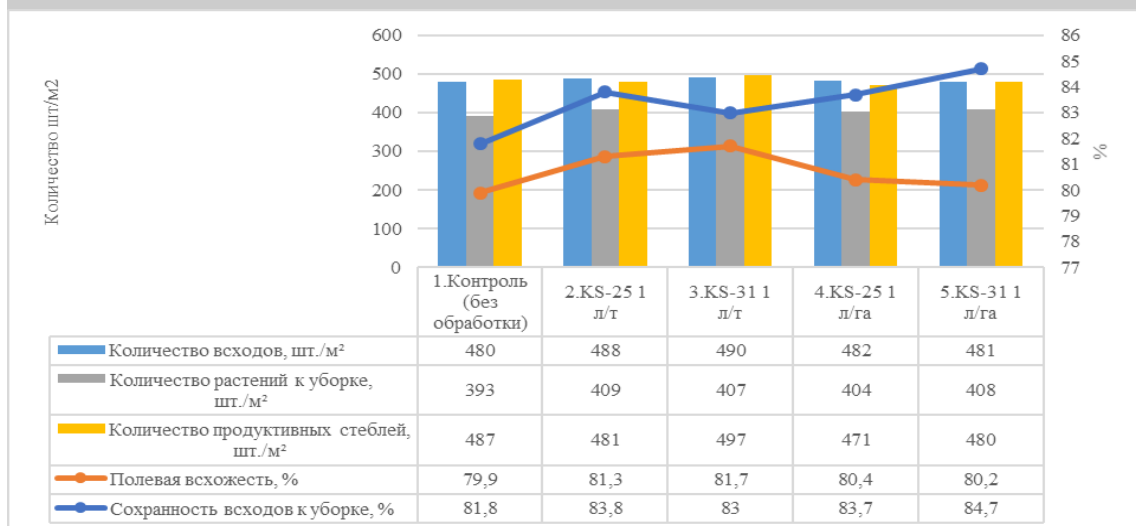


Рисунок 3 – Выживаемость всходов яровой пшеницы сорта Экада 109 к уборке в зависимости от использования штаммов KS-25 и KS-31, среднее за 2023-2024 годы

Структура урожая повысилась при использовании эндофитных бактерий (табл.1). По высоте растений наивысшие значения были получены на варианте с применением KS-31 – 1 л/т (+10 см). Достоверное увеличение длины колоса отмечено при обработке KS-31 (1 л/т) - 8,2 см

(+1 см к контролю; $HC_{05} = 0,94$). По массе зерна с 1 колоса прибавка наблюдалась на варианте с применением KS-25 – 1 л/га (+0,1 гр.). Немногим меньше эти показатели были на вариантах KS-25 – 1 л/т и KS-31 – 1 л/т (+0,09 и +0,08 соответственно).

Таблица 1 – Влияние различных обработок на биометрические показатели растений яровой пшеницы сорта Экада 109, среднее за 2023-2024 годы

Вариант	Высота растений (см)	Продуктивные стебли (шт./м²)	Длина колоса (см)	Масса зерна с колоса (г)
1.Контроль (без обработки)	80	487	7,2	0,74
2.KS-25 1 л/т	88	481	8,0	0,83
3.KS-31 1 л/т	90	497	8,2	0,82
4.KS-25 1 л/га	84	471	7,8	0,84
5.KS-31 1 л/га	87	480	7,0	0,79
HC_{05}	5,9	10,9	0,94	0,04

Максимальная эффективность была достигнута при применении штамма KS-31 в дозировке 1 л/т, где зафиксировано статистически значимое увеличение урожайности зерна на 0,44 т/га (12,1%) относительно контрольной

группы (табл. 2). Незначительно уступали данному варианту обработки: обработка семян штаммом KS-25 (1 л/т) — прибавка 0,36 т/га (9,9%) и внекорневая обработка KS-25 (1 л/га) — рост урожайности на 0,35 т/га (9,6%).

Таблица 2 – Влияние различных обработок на урожайность яровой пшеницы сорта Экада 109, 2023-2024 годы

Вариант	Урожайность зерна, т/га		Средняя урожайность, т/га	Прибавка	
	2023 год	2024 год		т/га	%
1.Контроль (без обработки)	3,83	3,39	3,61	-	-
2.KS-25 1 л/т	4,05	3,90	3,97	0,36	9,9
3.KS-31 1 л/т	3,90	4,21	4,05	0,44	12,1
4.KS-25 1 л/га	3,95	3,98	3,96	0,35	9,6
5.KS-31 1 л/га	4,05	3,50	3,77	0,16	4,4
HC_{05} , т/га	0,46	0,37			

Эндофитные бактерии оказали положительное влияние на качество зерна яровой пшеницы. В частности, применение препаратов KS-25 в дозе 1 л/га и KS-31 в дозе 1 л/га привело к увеличению содержания сырой клейковины на 4,1%. Однако стоит отметить, что обработка семян препаратом KS-25 в дозе 1 л/т показала снижение среднего содержания

клейковины на 1,4% (34,6% против 36,0% в контроле). Стоит отметить, что по результатам исследований за оба года наивысшее содержание клейковины наблюдалось в 2024 году. Это может свидетельствовать о том, что использование эндофитных бактерий способствует улучшению качественных характеристик зерна в условиях конкретного года выращивания.

Таблица 3 – Влияние различных обработок на показатели содержания сырой клейковины в зёрнах яровой пшеницы сорта Экада 109 в 2023-2024 годы

Вариант	Содержание сырой клейковины, %			Отклонение от контроля
				%
	2023	2024	Средняя	
1.Контроль (без обработки)	31,3	40,7	36,0	-
2.KS-25 1 л/т	30,8	38,4	34,6	-1,4*
3.KS-31 1 л/т	32,9	41,2	37,0	1,0
4.KS-25 1 л/га	33,3	41,7	37,5	1,5
5.KS-31 1 л/га	33,2	41,9	37,5	1,5
HCP ₀₅ , %	3,06	1,22		

Примечание: * Разница с контролем статистически не значима

Выводы. Использование биопрепаратов на основе эндофитных бактерий способствовало увеличению выживаемости, урожайности и качества зерна яровой пшеницы сорта Экада 109. Наиболее эффективным вариантом стала обработка семян

штаммом KS-31 (1 л/т), где прибавка составила 0,44 т/га (12,1%) относительно контроля (3,61 т/га). Качество зерна улучшилось: варианты KS-25 (1 л/га) и KS-31 (1 л/га) увеличили содержание сырой клейковины на 1,5%.

Литература

1. Мировой рынок химических средств защиты растений: потенциальные потери урожая, тренды и перспективы производства пестицидов для экономики России / А. И. Тареев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54, № 2. С. 310-329. doi: 10.21603/2074-9414-2024-2-2508.
2. Лысов А. К. Проблемы применения средств защиты растений и пути снижения их техногенного воздействия на окружающую среду // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 3(116). С. 34-51. doi: 10.24412/2713-2641-2023-3116-34-50.
3. Захаренко В. А. Особенности развития технологий защиты растений в агроэкосистемах в условиях рыночной экономики России // Агрохимия. 2023. № 8. С. 45-57. doi: 10.31857/S0002188123080112.
4. Сухорученко Г. И. Резистентность вредных организмов к пестицидам — проблема защиты растений второй половины XX столетия в странах СНГ // Вестник защиты растений. 2001. № 1. С. 18-37.
5. Brown C. D., Baird D. J. Pesticide residues in cereal crops: Current knowledge and future trends // J. Agric. Food Chem. 2019. Vol. 67, no. 19. P. 5391-5402. doi: 10.1021/acs.jafc.9b00123.
6. Степановских А. С., Жернова С. Ю., Жернов Г. О. Химическая защита растений: проблемы и перспективы // Актуальные проблемы медицины и биологии. 2019. № 1. С. 28-34.
7. Яковлев А. В. Актуальность использования биопрепаратов при выращивании сельскохозяйственных культур // Товароведение, технология и экспертиза: инновационные решения и перспективы развития: материалы III нац. науч.-практ. конф. Москва, 02 июня 2022 г. М.: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К. И. Скрябина, 2022. С. 268-271.
8. Захаренко В. А. Химическая защита растений в России в конце XX — начале XXI века // Защита и карантин растений. 2007. № 12. С. 6-10.
9. Захаренко В. А. Экономическая целесообразность системы защиты зерновых культур в России // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 5-8. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10701.
10. Берестецкий А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // Вестник защиты растений. 2017. № 1(91). С. 5-12.
11. Калмыкова Г. В., Горобей И. М., Осипова Г. М. Перспективы использования *Bacillus thuringiensis* как биологического агента защиты растений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 4(251). С. 12-19.
12. Ефимов М. Все препараты нашего производства безопасны для человека, животных и окружающей среды // Аграрная наука. 2020. № 1. С. 66.
13. Создание биопрепаратов, перспективных для сельского хозяйства / Н. Г. Захарова, З. Ю. Сираева, И. П. Демидова [и др.] // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2006. Т. 148, № 2. С. 102-111.
14. Культивируемые эндофитные бактерии стеблей и листьев гороха посевного (*Pisum sativum* L.) / Е. Н. Васильева, Г. А. Ахтемова, А. М. Афонин [и др.] // Экологическая генетика. 2020. Т. 18. № 2. С. 169-184. doi: 10.17816/ecogen17915.
15. Эндофитные бактерии рода *Bacillus* для защиты растений картофеля и томатов от альтернариоза / А. В. Сорокань, В. Ф. Габдрахманова, Д. К. Благова [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 3 (39). С. 205-215. doi: 10.5281/zenodo.13788887.
16. Эндофитные бактерии — основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства / В. К. Чеботарь, А. В. Щербаков, С. Н. Масленникова [и др.] // Агрохимия. 2016. № 11. С. 65-70.
17. Действие микробиологических удобрений и химических протравителей на посевные качества семян

сельскохозяйственных культур / Н. П. Чекаев, Ю. В. Блинохватова, А. В. Нуштаева [и др.] // Нива Поволжья. 2022. № 1(61). С. 01003. doi: 10.36461/NP.2022.61.1.009.

18. Задорожная В. А., Подлесных Н. В., Соколенко Г. Г. Оценка стимулирующего действия микробиологического препарата на основе штамма *Bacillus subtilis* на посевные качества зерновых культур // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 1(72). С. 136-142. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_136.

19. Завалин А. А., Сапожников С. Н., Ньямбосе Д. Реакция яровой пшеницы на применение азотного удобрения и биопрепаратов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 4. С. 50-54. doi: 10.31857/2500-2082/2022/4/50-54.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Финансирование работы отсутствовало.

Сведения об авторах:

Амиров Марат Фуатович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8585-1186>

Семенов Павел Геннадьевич – ассистент кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-4994-5037>

Шаймуллина Гульназ Хидиятовна – аспирант, научный сотрудник Центра агроэкологических исследований, e-mail: gulnazshajmullina@yandex.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

STUDY OF ENDOPHYTIC BACTERIA INFLUENCE OF *BACILLUS* GENUS ON SPRING WHEAT PRODUCTIVITY

M.F. Amirov, P.G. Semenov, G.Kh. Shaymullina

Abstract. An influence of biopreparations on growth and development of spring wheat of Ekada 109 variety (*Triticum aestivum* L.) was studied in the course of scientific research. Special attention was paid to the treatment of seeds and vegetative plants with strains of endophytic bacteria *Bacillus velezensis* KS-25 and *Bacillus velezensis* KS-31. The work was carried out in 2023-2024 on the experimental fields of LLC "Agrobiotechnopark", which is a part of Kazan State Agrarian University. Agrochemical analysis of soil showed humus content at the level of 3.0%, the amount of mobile phosphorus was 250 mg/kg (according to Kirsanov), and exchangeable potassium - 170 mg/kg, pH - 6.6. The experiment scheme: control (without treatment); seed inoculation with KS-25 (1 l/t); seed inoculation with KS-31 (1 l/t); leaf treatment with KS-25 (1 l/ha); leaf treatment with KS-31 (1 l/ha). It provided four-fold repetition with consecutive placement of plots, the area of each plot was 24 m². The results of the research revealed a positive effect of seed treatment with KS-25 strain (dose 1 l/t) on the accumulation of dry biomass of roots and stems during two growing seasons. In 2023 the dry mass growth of the root system reached 0.13 g, and of the aboveground part - 0.66 g. In 2024 the dynamics remained the same: the indicators amounted to 0.15 g for roots and 0.64 g for stems. Application of strain KS-31 (dose of 1 l/ha) contributed to the increase in seedling survival by 2.9% relative to the control. The conducted studies revealed a positive effect of seed treatment with the studied strain on spring wheat productivity. In particular, the application of the preparation at a dosage of 1 liter/t promoted an increase in the number of productive stems per unit area. The highest grain weight per ear (0.84 g) was recorded at KS-25 treatment (1 l/ha), which is statistically significant ($NCR_{05}=0.04$). The maximum yield was achieved when KS-31 (1 l/t) was applied - 4.05 t/ha (+0.44 t/ha to control, 12.1%). Crude gluten content increased by 4.1% when using KS-25 and KS-31 (1 l/ha).

Key words: spring wheat (*Triticum aestivum* L.), endophytic bacteria, Ekada 109, yield, dry weight, *Bacillus*.

For citation: Amirov M.F., Semenov P.G., Shaymullina G.Kh. Study of endophytic bacteria influence of *Bacillus* genus on spring wheat productivity. Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; № 2 (14). 6-12 p.

References

1. Tareev A.I. and others [World market of chemical plant protection products: potential crop losses, trends and prospects of pesticide production for the Russian economy]. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2024; 54(2). 310-329 p. doi: 10.21603/2074-9414-2024-2-2508.
2. Lysov A.K. [Problems of plant protection products application and ways to reduce their technogenic impact on the environment]. AgroEkoinzheneriya. 2023; 3(116). 34-51 p. doi: 10.24412/2713-2641-2023-3116-34-50.
3. Zakharenko V.A. [Features of plant protection technologies development in agroecosystems under the market economy of Russia]. Agrokimiya. 2023; 8. 45-57 p. doi: 10.31857/S0002188123080112.
4. Sukhoruchenko G.I. [Resistance of harmful organisms to pesticides: the problem of plant protection in the second half of the 20th century in CIS countries]. Vestnik zashchity rasteniy. 2001; 1. 18-37 p.
5. Brown C.D., Baird D.J. Pesticide residues in cereal crops: current knowledge and future trends. J. Agric. Food Chem. 2019; 67(19). 5391-5402 p. doi: 10.1021/acs.jafc.9b00123.
6. Stepanovskikh A.S., Zhernova S.Yu., Zhernov G.O. [Chemical plant protection: problems and prospects]. Aktualnye problemy meditsiny i biologii. 2019; 1. 28-34 p.
7. Yakovlev A.V. [Relevance of biopreparations use in agricultural crops cultivation. Commodity science, technology and expertise: innovative solutions and development prospects]. Materialy III nats. nauch.-prakt. konf. Moscow, June 02, 2022. Moscow: Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - Moscow Academy of Veterinary named after K.I. Skryabin. 2022; 268-271 p.
8. Zakharenko V.A. [Chemical plant protection in Russia at the end of the 20th - beginning of the 21st century]. Zashchita i karantin rasteniy. 2007; 12. 6-10 p.
9. Zakharenko V.A. [Economic feasibility of the grain crops protection system in Russia]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018; 32(7). 5-8 p. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10701.
10. Berestetskiy A.O. [Prospects for the development of biological and biorational herbicides]. Vestnik zashchity rasteniy. 2017; 1(91). 5-12 p.
11. Kalmykova G.V., Gorobey I.M., Osipova G.M. [Prospects of *Bacillus thuringiensis* use as a biological plant protection agent]. Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. 2016; 4(251). 12-19 p.

12. Efimov M. [All preparations of our production are safe for humans, animals and the environment]. *Agrarnaya nauka*. 2020; 1. 66 p.
13. Zakharova NG, Siraeva ZYu, Demidova IP. [Development of biopreparations promising for agriculture]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*. 2006; 148(2). 102-111 p.
14. Vasileva EN, Akhtemova GA, Afonin AM. [Cultivated endophytic bacteria of stems and leaves of pea (*Pisum sativum* L.)]. *Ekologicheskaya genetika*. 2020; 18(2). 169-184 p. doi: 10.17816/ecogen17915.
15. Sorokan AV, Gabdrakhmanova VF, Blagova DK. [Endophytic bacteria of *Bacillus* genus for protection of potato and tomato plants from alternariosis]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2024; 3(39). 205-215 p. doi: 10.5281/zenodo.13788887.
16. Chebotar VK, Shcherbakov AV, Maslennikova SN. [Endophytic bacteria as a basis for complex microbial preparations for agriculture and forestry]. *Agrokimiya*. 2016; 11. 65-70 p.
17. Chekaev NP, Blinohvatova YuV, Nushtaeva AV. [Effect of microbiological fertilizers and chemical seed dressers on the sowing qualities of agricultural crops seeds]. *Niva Povolzhya*. 2022; 1(61). 01003 p. doi: 10.36461/NP.2022.61.1.009.
18. Zadorozhnaya VA, Podlesnykh NV, Sokolenko GG. [Evaluation of the stimulating effect of a microbial preparation based on *Bacillus subtilis* strain on the sowing qualities of grain crops]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; 15(1). 136-142 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_136.
19. Zavalin AA, Sapozhnikov SN, Nyambose D. [Spring wheat response to nitrogen fertilizer and biopreparations application]. *Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki*. 2022; 4. 50-54 p. doi: 10.31857/2500-2082/2022/4/50-54.

Conflict of interest.

The authors declare that they have no conflict of interest. There was no funding for the work.

Authors:

Amirov Marat Fuatovich - Doctor of Agricultural Sciences, Head of Plant Production and Horticulture Department, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8585-1186>
 Semenov Pavel Gennadevich - Assistant Professor of Plant Production and Horticulture Department, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0004-4994-5037>
 Shaymullina Gulnaz Khidiyatovna – post-graduate student, researcher of Center for Agroecological Research, e-mail: gulnazshajmullina@yandex.ru.
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.