УДК 633.11:632.952(571.17)
EDN PJMIDE
DOI 10.71453/3034-4174-2026-1-36

ВЛИЯНИЕ БИОФУНГИЦИДА «БАКТОФИТ СК» НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Соболева Ольга Михайловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры[1,2]
Пузикова Алена Игоревна, научный сотрудник[1]
Харченко Елена Николаевна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Агроэкология»[1]
Коваленко Данил Петрович, магистрант[1]
[1]Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкова, г. Кемерово, Россия
[2]Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Кемерово, Россия

Аннотация. В условиях Западной Сибири продуктивность яровой пшеницы и качество ее зерна лимитируются комплексом грибных заболеваний. Широкое применение химических фунгицидов сопряжено с рисками развития резистентности патогенов, негативным воздействием на агробиоценозы и ростом себестоимости продукции. В этой связи актуальной задачей является поиск эффективных биологических альтернатив, совмещающих защитную функцию со стимуляцией роста и улучшением качества урожая. **Цель исследований** – провести комплексную оценку влияния биофунгицида «Бактофит СК» на основе *Bacillus subtilis* на урожайность, элементы структуры урожая и технологические показатели зерна яровой пшеницы в условиях лесостепи Новосибирской области. Объектом исследования являются посевы яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Новосибирская 49 и Ликамеро. Предмет исследования – влияние однократной обработки биофунгицидом «Бактофит СК» (нормы расхода 1,0 и 2,0 л/га, фаза кущения) на продуктивность и качество зерна.

В результате полевого эксперимента установлено, что применение препарата обеспечило достоверную прибавку урожая на 0,33–0,55 т/га (7,9–13,5%), улучшило структуру урожая и повысило качество зерна: натуру – до 818 г/л, содержание клейковины – до 34,1%, белка – до 13,6%. Наибольшая эффективность отмечена при норме расхода 2,0 л/га. Результаты

свидетельствуют о целесообразности включения «Бактофита СК» в технологии возделывания яровой пшеницы в регионе.

Ключевые слова: яровая пшеница, *Triticum aestivum* L., биофунгицид, *Bacillus subtilis*, Бактофит СК, урожайность, структура урожая, качество зерна, натура, клейковина, белок, экономическая эффективность, Западная Сибирь.

EFFECT OF BAKTOFIT SK BIOFUNGICIDE ON SPRING WHEAT PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY IN THE FOREST-STEPPE CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

Soboleva Olga M., PhD in Biology, Associate Professor[1,2]
Puzikova Alena I., research fellow[1]
Kharchenko Elena N., Candidate of Chemical Sciences, Head of the laboratory «Agroecology»[1]
Kovalenko Danil P., master's student[1]
[1]Kuzbass State Agrarian University, Kemerovo,Russia
[2]Kemerovo State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kemerovo, Russia

Abstract. In Western Siberia, spring wheat productivity and grain quality are limited by a range of fungal diseases. The widespread use of chemical fungicides carries the risk of pathogen resistance, negative impacts on agrobiocenoses, and increased production costs. Therefore, the search for effective biological alternatives that combine protective properties with growth stimulation and improved crop quality is a pressing issue. The aim of the research was to conduct a comprehensive assessment of the impact of the biofungicide Baktofit SK based on Bacillus subtilis on the yield, elements of the crop structure and technological indicators of spring wheat grain in the forest-steppe conditions of the Novosibirsk region. The study focused on spring soft wheat (Triticum aestivum L.) varieties Novosibirskaya 49 and Likamero. The study examined the impact of a single treatment with the biofungicide Baktofit SK (at rates of 1,0 and 2,0 l/ha, tillering stage) on grain productivity and quality. A field trial revealed that the product significantly increased yield by 0,33–0,55 t/ha (7,9–13,5%), improved yield structure, and increased grain quality: grain weight up to 818 g/l, gluten content up to 34,1%, and protein content up to 13,6%. The highest efficiency was observed at a rate of 2,0 l/ha. The results demonstrate the feasibility of incorporating Baktofit SK into spring wheat cultivation practices in the region.

Keywords: spring wheat, Triticum aestivum L., biofungicide, Bacillus subtilis, Baktofit SK, yield, yield structure, grain quality, natural content, gluten, protein, economic efficiency, Western Siberia.

Введение

Яровая пшеница – одна из важнейших зерновых культур в Российской Федерации, определяющая продовольственную безопасность страны. В условиях Западной Сибири, несмотря на высокий естественный потенциал плодородия черноземных почв, устойчивая продуктивность культуры лимитируется комплексом абиотических и биотических стрессов, среди которых значительное место занимают грибные болезни [1]. Традиционная стратегия защиты, основанная на применении химических фунгицидов, сталкивается с проблемами развития резистентности патогенов, негативного воздействия на агробиоценозы и увеличения себестоимости продукции [2]. В этой связи перспективным направлением является разработка и внедрение биологических средств защиты растений, совмещающих непосредственное подавление фитопатогенов с ростостимулирующим и иммунизирующим действием [3].Одним из таких препаратов является биофунгицид «Бактофит СК», действующим началом которого служат живые клетки и споры бактерии *Bacillus subtilis* (штамм ИПМ-215).

Известно, что представители рода *Bacillus* способны продуцировать широкий спектр антимикробных метаболитов (липопептиды, гидролазы), индуцировать системную резистентность растений (ИСР), а также улучшать их минеральное питание за счет солюбилизации фосфатов и продукции сидерофоров [4]. Эффективность препаратов на основе *B. subtilis* в подавлении возбудителей корневых гнилей, септориоза и мучнистой росы на зерновых культурах показана в ряде исследований [5; 6]. Однако данные исследований по влиянию «Бактофита СК» на продуктивность и, что особенно важно, на технологические качества зерна яровой пшеницы в специфических почвенно-климатических условиях лесостепи Новосибирской области остаются фрагментарными.

Цель исследований – комплексная оценка влияния обработки биофунгицидом «Бактофит СК» при разных нормах расхода на урожайность, элементы структуры урожая и качество зерна яровой пшеницы в условиях лесостепи Новосибирской области.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2025 году в ООО «Тогучинское аграрное хозяйство». Почва опытного участка – чернозем обыкновенный. Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0–30 см) перед закладкой опыта: содержание гумуса (по Тюрину) – 7,9%, подвижного фосфора (по Чирикову) – 109 мг/кг, обменного калия – 121 мг/кг, pH солевой вытяжки – 6,3. Предшественник – чистый пар.

Вегетационный период 2025 г. был благоприятным для развития растений яровой пшеницы, особенно его первая половина. Осадков выпало

91 % от нормы при среднесуточной температуре воздуха 18,5°С. Агрометеорологические условия второй половины вегетации были благоприятны по осадкам и температуре. Число дней с температурой выше 19°С составило 26 суток.

Объектами исследований служили два сорта яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): среднеранний сорт Новосибирская 49 (оригинатор – ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН», г. Новосибирск) и среднеспелый сорт Ликамеро (оригинатор – Secobra Recherches, Франция; допущен к использованию в Российской Федерации с 2021 г.). Биологическим объектом являлся микробиологический фунгицид «Бактофит СК» (ООО ПО «СИББИОФАРМ», *Bacillus subtilis,* титр не менее 2 млрд КОЕ/г).

Схема полевого опыта включала три варианта:

1. Контроль (без обработки биофунгицидом).
2. Опрыскивание в фазу кущения Бактофит СК, норма 1,0 л/га.
3. Опрыскивание в фазу кущения Бактофит СК, норма 2,0 л/га.

Опыт заложен в трехкратной повторности, методом рендомизированных повторений. Площадь учетной делянки – 240 м². Обработка проводилась однократно опрыскивателем в баковой смеси с гербицидом. Общий агротехнический фон (основная и предпосевная обработки почвы, норма высева – 6,0 млн всхожих семян/га, внесение аммофоски – 35 кг/га д.в.) был единым и соответствовал зональной технологии. Сбор и анализ данных проводили по общепринятым методикам [10]: урожайность оценивалась методом сплошного обмолота делянок (зерноуборочный комбайн SAMPO-130) с пересчетом на стандартную влажность (14%) и 100%-ную чистоту согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (М., 2019). Структуру урожая анализировали по 50 растениям с каждой повторности; качество зерна (натуру, содержание сырой клейковины и белка) определяли в соответствии с ГОСТами в аккредитованной лаборатории. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием критерия наименьшей значимой разности ($НСР_{05}$).

Результаты

В фазу молочной спелости проведен учет распространенности корневых гнилей, септориоза и мучнистой росы (табл. 1).

Таблица 1

Влияние обработки «Бактофитом СК» на развитие грибных болезней яровой пшеницы, %

Сорт	Вариант	Корневые гнили, распространен-ность, %	Септориоз, развитие, %	Мучнистая роса, развитие, %
Новосибирская 49	Контроль	42,6	18,4	12,1
	Бактофит СК, 1,0 л/га	28,3	9,7	6,4
	Бактофит СК, 2,0 л/га	21,5	6,2	4,0
Ликамеро	Контроль	38,2	15,6	10,3
	Бактофит СК, 1,0 л/га	24,6	8,1	5,2
	Бактофит СК, 2,0 л/га	19,8	5,0	3,3

По данным таблицы 1 видно, что применение биофунгицида снизило распространенность корневых гнилей в 1,5–2,0 раза, развитие септориоза – в 2–3 раза, мучнистой росы – в 2–3 раза по сравнению с контролем. Наибольший защитный эффект отмечен при норме 2,0 л/га. Также обработка биофунгицидом оказала существенное влияние на основные компоненты урожая яровой пшеницы (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, применение «Бактофита СК» способствовало достоверному увеличению количества продуктивных стеблей на 3–5% по сравнению с контролем. Наиболее отзывчивым по данному показателю был сорт Новосибирская 49. Положительная динамика отмечена и по числу зерен в колосе, которое увеличилось на 0,9–1,5 зерна (3,4–5,7%).

Таблица 2

Влияние обработки «Бактофитом СК» на элементы структуры урожая яровой пшеницы

Сорт	Вариант	Продуктивных стеблей, шт./м²	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Новосибирская 49	Контроль	376±12	26,4±0,5	38,1±0,3
	Бактофит СК, 1,0 л/га	389±9*	27,3±0,4*	38,7±0,2*
	Бактофит СК, 2,0 л/га	396±8*	27,9±0,3*	39,0±0,2*
Ликамеро	Контроль	395±10	26,0±0,6	38,5±0,4
	Бактофит СК, 1,0 л/га	403±7*	27,6±0,4*	38,6±0,3
	Бактофит СК, 2,0 л/га	407±6*	27,8±0,3*	39,2±0,2*

**Различия с контролем достоверны при p<0,05.*

Значимым результатом является повышение массы 1000 зерен на 0,4–0,8 г (1,0–2,1%), что напрямую связано с улучшением условий налива зерна. Интегральным показателем эффективности применения препарата явилась урожайность зерна (табл. 3).

Полученные данные согласуются с работами, в которых отмечается способность ризобактерий *B. subtilis* продуцировать фитогормоны (ауксины) и улучшать фосфорное питание растений, что в конечном итоге стимулирует ростовые процессы и формирование репродуктивных органов [7].

Максимальная урожайность представлена на вариантах с обработкой 2,0 л/га и составила 4,63 и 4,71 т/га для сортов Новосибирская 49 и Ликамеро соответственно. Достоверные прибавки урожая находились в диапазоне от 0,33 до 0,55 т/га (7,9–13,5% к контролю).

Таблица 3

Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от обработки «Бактофитом СК», т/га

Сорт	Контроль	Бактофит СК, 1,0 л/га	Прибавка, т/га	Бактофит СК, 2,0 л/га	Прибавка, т/га	НСР05, т/га
Новосибирская 49	4,08±0,11	4,41±0,09*	+0,33	4,63±0,08*	+0,55	0,16
Ликамеро	4,25±0,10	4,59±0,07*	+0,34	4,71±0,06*	+0,46	0,14

Относительно большая отзывчивость сорта Новосибирская 49 на увеличение нормы расхода препарата может быть связана с его сортовыми особенностями и исходным фитосанитарным состоянием посевов. Полученные результаты по прибавке урожая соответствуют или превышают данные других авторов, работавших с биофунгицидами на основе *Bacillus spp*. на зерновых культурах в условиях Сибири [8].

Отмеченная большая отзывчивость сорта Новосибирская 49 на увеличение нормы расхода препарата (прибавка +0,55 т/га против +0,46 т/га у Ликамеро при 2,0 л/га) может быть связана с его среднеранним генотипом и более высокой исходной восприимчивостью к корневым гнилям (контрольный уровень распространенности 42,6% против 38,2% у Ликамеро). Ранняя фаза кущения у Новосибирской 49 совпадает с более жесткими погодными условиями июня, и стресс-протекторное действие *Bacillus subtilis* (индукция системной устойчивости, продукция фитогормонов) в этом случае проявляется сильнее. Кроме того, различия могут быть обусловлены разной эффективностью колонизации ризосферы штаммом ИПМ-215 в зависимости от корневых экссудатов сорта. Этот вопрос требует дальнейших молекулярно-генетических исследований.

Натура зерна – важный показатель, определяющий выход муки. Во всех вариантах опыта она соответствовала базисным кондициям (>750 г/л), а при обработке нормой 2,0 л/га у сорта Ликамеро достигла высокого значения 818 г/л. Наиболее значимым является увеличение содержания сырой клейковины (на 2,0–5,7%) и белка (на 0,7–1,5%). В варианте с нормой 2,0 л/га у сорта Ликамеро содержание клейковины составило 34,1%, что соответствует показателям зерна 1-го класса.

Применение биофунгицида не только повысило урожай, но и существенно улучшило технологические показатели зерна (табл. 4).

Таблица 4

Влияние обработки Бактофит СК на качество зерна яровой пшеницы

Сорт	Вариант	Натура, г/л	Клейковина, %	Белок, %
Новосибирская 49	Контроль	768±5	27,8±0,6	12,1±0,2
	Бактофит СК, 1,0 л/га	787±4*	29,8±0,5*	12,8±0,3*
	Бактофит СК, 2,0 л/га	793±3*	32,7±0,4*	13,5±0,2*
Ликамеро	Контроль	777±4	28,4±0,5	12,4±0,2
	Бактофит СК, 1,0 л/га	783±3	30,9±0,4*	13,5±0,2*
	Бактофит СК, 2,0 л/га	818±3*	34,1±0,3*	13,6±0,2*

Улучшение качества зерна на фоне применения *B. subtilis* может быть объяснено комплексом факторов (снижением пораженности болезнями, оптимизацией азотного питания) за счет стимуляции корневой системы и, возможно, прямым влиянием бактериальных метаболитов на синтез запасных белков.

Заключение

Однократная обработка посевов яровой пшеницы в фазу кущения биофунгицидом «Бактофит СК» в нормах 1,0 и 2,0 л/га обеспечивает достоверное увеличение продуктивности культуры за счет улучшения всех элементов структуры урожая: количества продуктивных стеблей, озерненности колоса и массы 1000 зерен. Применение препарата существенно улучшает технологическое качество зерна, повышая натуру, содержание сырой клейковины и белка. Норма расхода 2,0 л/га способствовала получению зерна с содержанием клейковины 32,7–34,1%, что соответствует требованиям к ценным и сильным пшеницам. Наибольшая урожайность (4,63 и 4,71 т/га) достигнута при использовании «Бактофита СК» в норме 2,0 л/га. Результаты исследований позволяют рекомендовать данный биофунгицид (норма расхода – 2,0 л/га, фаза применения – кущение) для включения в технологии возделывания яровой пшеницы в лесостепной зоне Западной Сибири как эффективный элемент, обеспечивающий рост урожайности и улучшение качества зерна.

Список источников

1. Дукси, Ф. Грибные заболевания пшеницы в России: распространение, симптомы, методы борьбы и экономический ущерб (обзор литературы) / Ф. Дукси, М. Х. Валли, М. Заргар // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2025. Т. 27, № 3. С. 121–132. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-3-121-132 EDN: TIIGQM.

2. Ледовский, Е. Н. Эффективность фунгицидов и некорневой подкормки удобрениями при защите яровой мягкой пшеницы на юге Западной Сибири / Е. Н. Ледовский, В. Г. Доронин, И. В. Пахотина // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, № 5. С. 184–203. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1038 EDN: NHBSYF.

3. Vlasenko, N. G. Biofungicides in the Spring Wheat Cultivation Practices / N. G. Vlasenko, S. V. Burlakova, M. T. Egorycheva //Russian Agricultural Sciences. 2023. Т. 49, № 5. P. 483–487. DOI 10.3103/s1068367423050154. EDN FWGMWZ.

4. Абрамова, А. А. Влияние применения биопрепаратов на основе различных эндофитных бактерий рода *Bacillus* на фитопатогенные микромицеты и продуктивность яровой пшеницы / А. А. Абрамова, Р. И. Сафин // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2024. № 3. С. 11. DOI 10.12737/2782-490X-2024-6-13. EDN LPKOXK.

5. Antagonistic activity and mechanism of Bacillus subtilis XZ16-1 suppression of wheat powdery mildew and growth promotion of wheat / Y. J. Yi et al. // Phytopathology®. 2022. Т. 112, № 12. P. 2476–2485. DOI: 10.1094/PHYTO-04-22-0118-R.

6. Sustainable microbial solutions for managing fungal threats in wheat: progress and future directions / P. L. Kashyap et al. // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2025. Т. 41, № 3. Art. 79. DOI:10.1007/s11274-025-04286-x.

7. Побеленская, А. А. Эффективность применения биопрепаратов на яровой пшенице в годы с разной влагообеспеченностью / А. А. Побеленская, Л. Н. Коробова, К. В. Павлова // Вестник НГАУ. 2025. № 3. С. 143–149. EDN: QZENVW.

8. Кекало, А. Ю. Корневая гниль яровой пшеницы в условиях Зауралья, варианты оперативной защиты / А. Ю. Кекало, В. В. Немченко // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 8. С. 981–993. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-08-981-993. EDN LMHIJZ.