

DOI: 10.7868/S3034574X26020091
УДК 581.1 : 571.27 : [633.11 : 632.4] : 632.938

Оригинальная статья

ВЛИЯНИЕ ХИТОЗАНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ НА РАЗВИТИЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ И УСТОЙЧИВОСТЬ К БОЛЕЗНЯМ, ВЫЗЫВАЕМЫМ БИОТРОФНЫМИ И ГЕМИБИОТРОФНЫМИ ГРИБАМИ В УСЛОВИЯХ ЭПИФИТОТИИ

Л.Я. Плотникова^{1,*}, В.В. Кнауб¹, В.В. Фоменко²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова
Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Российская Федерация

*E-mail: lya.plotnikova@omgau.org

Аннотация. Проведено сравнительное изучение влияния линейного хитозана (**Хит**) и глобулярной формы хитозана — новохиноля (**Нх**) на рост и развитие яровой мягкой пшеницы, а также защиту от комплекса грибных болезней в условиях эпифитотии. По результатам наблюдений вычисляли показатели «Площадь под кривой развития болезни» (**ПКРБ**) и индекс устойчивости (**ИУ**). Результаты исследований показали, что Хит проявил более высокую рост-стимулирующую активность (усиление прорастания семян, формирования стеблей и колосьев, завязываемости семян) и защитное действие от биотрофных и гемибитрофных патогенов, чем Нх. Препарат Нх-СК (комплекс Нх с 0,01%-ной салициловой кислотой) проявил лучший защитный эффект, усиливающийся в отношении бурой ржавчины, стеблевой ржавчины, септориоза листа, септориоза колоса. Увеличение урожая пшеницы в вариантах с Хит в большей степени обеспечивалось рост-стимулирующим эффектом, а НХ-СК — защитой от комплекса болезней, вызываемых грибами с разным типом питания.¹

Ключевые слова: хитозан, новохиноль, салициловая кислота, *Triticum aestivum*, регуляция роста, грибные болезни, урожайность, качество зерна

Финансирование. Исследование проведено без дополнительного финансирования.

Соблюдение этических стандартов. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них отсутствует конфликт интересов.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи.

Ссылка для цитирования: Плотникова Л.Я., Кнауб В.В., Фоменко В.В. Влияние хитозановых препаратов на развитие яровой мягкой пшеницы и устойчивость к болезням, вызываемым биотрофными и гемибитрофными грибами в условиях эпифитотии. *Прикладная биохимия и микробиология / Applied biochemistry and microbiology*. 2026. Т. 62. № 2. С. 247–260. <https://doi.org/10.7868/S3034574X26020091>

© Л. Я. Плотникова, В. В. Кнауб, В. В. Фоменко, 2026

¹ **Сокращения:** Нх — новохиноль; СК — салициловая кислота; Хит — хитозан; SAR — Systemic Acquired Resistance.

THE INFLUENCE OF CHITOSAN PREPARATIONS ON SPRING BREAD WHEAT DEVELOPMENT AND RESISTANCE TO DISEASES, CAUSED BY BIOTROPHIC AND HEMIBIOTROPHIC FUNGI UNDER EPIDEMICS CONDITIONS

L.Ya. Plotnikova^{1,*}, V.V. Knaub¹, V.V. Fomenko²

¹*Omsk State Agrarian university named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation*

²*N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

**E-mail: lya.plotnikova@omgau.org*

Abstract. A comparative study of the effect of linear chitosan (**Ch**) and the globular form of chitosan, novochizol (**Nc**), on the growth and development of spring bread wheat, as well as protection against fungal diseases complex under epidemics conditions, was carried out. The indicators “Area Under the Disease Progress Curve” (**AUDPC**) and “Resistance Index” (**RI**) were calculated based on the observations. The research results showed that the Ch had a greater growth-stimulating activity (on seed germination, stem and ear formation, and seed setting) and a protective effect against biotrophic and hemibiotrophic pathogens, than Nc. The Nc-SA preparation showed the greatest protective effect, which increased in relation to the following diseases: leaf rust, stem rust, Septoria tritici blotch, and Septoria nodorum blotch. The increase in grain yield in the Ch-treated variants was mainly due to the growth-stimulating effects, while the Nc-SA-treatment provided better protection against a range of diseases caused by the fungi with different feeding types.

Keywords: chitosan, novochizol, salicylic acid, *Triticum aestivum*, growth regulation, fungal diseases, grain yield, grain quality

Funding. The research was conducted without additional funding.

Ethics declarations. This article does not contain any studies involving humans and animals as objects.

Conflict of interests. The authors of this paper declare that they have no conflict of interest.

Authors contribution. All the authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article.

For Citation: Plotnikova L.Ya., Knaub V.V., Fomenko V.V. The influence of chitosan preparations on spring bread wheat development and resistance to diseases, caused by biotrophic and hemibiotrophic fungi under epidemics conditions. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya / Applied biochemistry and microbiology*. 2026;62(2):247–260. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S3034574X26020091>

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом народонаселения планеты увеличивается потребность в производстве продовольствия, при этом растительная продукция является основой питания людей и сельскохозяйственных животных. На продуктивность растений значительное отрицательное влияние оказывают факторы среды (прежде всего, засуха и экстремальные температуры), а также болезни и вредители. Для защиты от патогенов и вредителей традиционно применяют химические средства защиты [24]. Химические пестициды эффективно подавляют развитие и размножение патогенов и вредителей, но имеют ряд побочных отрицательных свойств, включая пониженную скорость биodeградации в агроценозах. Накопление химикатов в продукции может отрицательно влиять на здоровье населения, а также вызывает изменения микрофлоры и микрофауны в почве. Использование в растениеводстве интенсивных технологий, включающих широкое применение химических средств защиты, стимулирует микроэволюционные процессы в популяциях и ускоряет появление новых форм патогенов, преобладающих устойчивость растений [18].

В связи с этим усиливается интерес к созданию и использованию биопестицидов на основе природных соединений. Такие препараты могут обеспечивать защитный эффект, близкий к химическим соединениям, но достаточно легко утилизируются в биоценозах, не оказывая вредного влияния на организмы [24, 27]. Широкое применение биопестицидов считается перспективным направлением работы, обеспечивающим улучшение экологической обстановки в агроценозах и устойчивое развитие сельского хозяйства [16].

Для защиты культурных растений широко применяют препараты, созданные на основе хитина и хитозана. Полимерный углевод хитин широко распространен в природе и входит в состав покровов членистоногих (ракообразных, насекомых и др.) и грибов. Хитозан (**Хит**), полученный из хитина путем гидролиза и деацетилирования хитина, относится к естественным биополимерам и отличается способностью к деградации микроорганизмами и биосовместимостью с живыми организмами [40]. Установлено, что хитозановые препараты оказывают рост-стимулирующее действие на различные виды растений, а также повышают их устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам [21, 28]. Производные хитозана играют роль факторов, индуцирующих защитные реакции растений (элиситоров). Хитозановые биопестициды стимулируют развитие комплекса защитных реакций и формирование системной приобретенной устойчивости (Systemic Acquired Resistance, **SAR**) в растениях [7, 15].

Одним из производных Хит является препарат Новохизол (**Нх**), имеющий глобулярную форму

за счет внутримолекулярных сшивок исходного линейного полимера. Благодаря такой форме Нх отличается повышенной стабильностью, способен быстро проникать в ткани растений и быть носителем дополнительных соединений (<https://www.novochizol.ch>).

В настоящее время созданы защитные препараты на основе Хит, а также композиций Хитс различными веществами (ионами металлов, растительными экстрактами, фенольными кислотами) и полезными микроорганизмами [10, 14, 24, 33].

Одним из возможных компонентов для создания комплексных препаратов на основе Хит является салициловая кислота (**СК**). СК, синтезируемая в растении (эндогенная), участвует в индукции и реализации набора защитных реакций против биотрофных патогенов, реализующихся через СК-зависимый сигнальный каскад синтеза активных форм кислорода, защитных PR-белков, реакции сверхчувствительности и др. [17, 23]. Кроме того, СК является мессенджером, индуцирующим формирование SAR в удаленных частях растений [14]. Несмотря на доказанную важную роль эндогенной СК в регуляции защитных механизмов, применение растворов СК для индукции устойчивости к болезням не получило значительного распространения. Это связано с тем, что СК плохо проникает в растительные ткани, а в повышенной концентрации вызывает ожоги листьев [9, 12]. В связи с этим в качестве индукторов устойчивости SAR используют аналоги СК или комплексы СК с другими веществами [6, 30]. Влияние комплекса Нхс СК на устойчивость растений к различным патогенам ранее не исследовалось.

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — одна из важнейших продовольственных культур в мире. В связи с прогнозируемым ростом численности населения необходимо увеличить производство зерна в 1,7 раза к 2050 г. [38]. Эту задачу можно решить за счет повышения потенциальной урожайности сортов, а также снижения потерь от биотических факторов [19]. К значительным потерям урожая зерна пшеницы в мире приводит развитие болезней, вызываемых патогенными грибами с биотрофным типом питания (мучнистая роса, бурая ржавчина и стеблевая ржавчина), а также септориозных пятнистостей, возбудителями которых являются гемибиотрофные грибы (*Zimoseptoria tritici*, *Parastagonospora nodorum* и др.) [20, 32, 34].

Ранее в экспериментах с хитозановыми биопестицидами использовали разные препараты и композиции, применяли разные способы обработки семян и/или вегетирующих растений и варьировали число обработок пшеницы (от 2 до 5) на разных фазах развития растений. При этом защитный эффект зависел от условий сезона и препаратов [1, 6, 8, 10]. Для экологически обоснованной защиты пшеницы актуальна оптимизация технологии при-

менения хитозановых препаратов, включая состав комплексов, сроки и способы их применения с учетом спектра болезней и фаз развития растений.

Цель работы — изучение рост-стимулирующего и защитного эффектов хитозана, новохинола и их композиций с СК на развитие яровой мягкой пшеницы и устойчивость к набору болезней, вызываемых биотрофными и гемибитрофными грибами в условиях эпифитотии.

МЕТОДИКА

Объект исследований. Объектом исследования служили растения восприимчивого к грибным болезням сорта яровой мягкой пшеницы Новосибирская 29.

Эксперименты были проведены в полевых условиях южной лесостепи Западной Сибири на стационаре Омского ГАУ (г. Омск, широта 54,58, долгота 73,24) в 2025 г. Посев проводили 23 мая сеялкой ССФК-7 (Омский экспериментальный завод, филиал ФГБНУ «Омский АНЦ», Россия) во влажную прогретую почву на глубину 7–8 см с нормой высева 500 зерен/м². Эксперименты проводили по паровому предшественнику на делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности, с рандомизированным расположением вариантов опыта на участке.

Обработка растений. Для обработки использовали препараты Хит и Нх. Хит был получен из экзоскелета креветки *Pandalus borealis* (ChitoClear, Исландия). Нх представлял собой глобулярную форму Хит со степенью деацетилирования не менее 90 % и молекулярной массой 500 kDa (Novochizol SA, Швейцария).

Для обработки семян использовали 2%-ные водные растворы Хит или Нх [1] из расчета 0,5 мл/500 зерен. Семена обрабатывали препаратами за одни сутки до посева, а затем подсушивали при комнатной температуре. Для опрыскивания вегетирующих растений применяли: 1) 0,125%-ный Хит; 2) 0,125%-ный Хит с добавлением 0,01% СК(Хит-СК); 3) 0,125%-ный Нх; 4) 0,125%-ный Нх с добавлением 0,01% СК(Нх-СК). Концентрации веществ были определены на основании ранее опубликованных результатов исследований, в ходе которых они показали лучшую защиту растений [12, 13, 25]. Рабочие 0,125%-ные растворы Хит или Нх готовили перед использованием путем разбавления водой 2%-ных растворов. Водный раствор СК добавляли в растворы Хит и Нх с таким расчетом, чтобы конечная концентрация была 0,01%. Растения опрыскивали препаратами из расчета 150 мл/м² посева. Опрыскивание растений проводили одно- или двукратно. Первую обработку сделали 23 июля при появлении первых симптомов бурой ржавчины на растениях в фазе колошения, повторную — через 20 сут (фаза молочной

спелости). Контрольные растения обрабатывали дистиллированной водой. Варианты применения препаратов веществ приведены в табл. 1.

Изучение показателей роста и развития растений. В течение полевого сезона оценивали полевую всхожесть растений (доля взошедших семян от количества посеянных, %). Фенологические наблюдения проводили по общепринятым методам, используя шкалу Zadoks в модификации для яровой пшеницы [37]. Определяли фазы: всходы (ф. 12), кушение (ф. 21–22), выход в трубку (ф. 31), колошение (ф. 53), молочная спелость (ф. 73), восковая спелость (ф. 94). По результатам фенологических наблюдений определяли вегетационный период («всходы-восковая спелость», сут.). Перед уборкой собирали сноповый материал для анализа элементов структуры урожая. Уборку делянок проводили механизированно. Зерно высушивали до стандартной (14%) влажности и определяли урожайность в вариантах опыта (г/м²).

Для характеристики роста и развития растений использовали следующие показатели: вегетационный период (сут), высоту растений (см), число продуктивных стеблей в посеве (шт./п. м.), число продуктивных стеблей растения (шт.), массу зерна растения (г), массу 1000 зерен (г), урожайность (г/м²).

Оценка развития болезней. Поражение растений мучнистой росой (возбудитель *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (DC.) Speer) оценивали в % [3]. Поражение бурой ржавчиной оценивали по реакции (0 — иммунитет, 4 — восприимчивость) [26] и степени поражения в % [29]. Развитие стеблевой ржавчины на образцах оценивали по шкале, принятой в Международном центре СИММУТ (R — иммунитет, MR — высокая устойчивость, MS — умеренная восприимчивость, S — восприимчивость) и по степени поражения в % [5]. Поражение листьев и колосьев пшеницы септориозом определяли раздельно (в %/%) [19].

Развитие болезней оценивали на интенсивном естественном инфекционном фоне, в динамике с интервалом 7–10 сут, начиная от появления первых симптомов бурой ржавчины (22 июля) до достижения растениями восковой спелости (26 августа). По результатам динамических оценок строили графики развития болезни и рассчитывали показатель «Площадь под кривой развития болезни» (ПКРБ) и «Индекс устойчивости» (ИУ). ПКРБ (в условных единицах) вычисляли по формуле [3]:

$$\text{ПКРБ} = 0,5 \cdot (x_1 + x_2) \cdot (t_2 - t_1) + \dots + 0,5 \cdot (x_{n-1} + x_n) \cdot (t_n - t_{n-1}), \quad (1)$$

где x_1 — поражение при первом учете, %; x_2 — поражение при втором учете, %; x_n — поражение при последнем учете; $(t_2 - t_1)$ — количество дней между вторым и первым учетом; $(t_n - t_{n-1})$ — количество дней между последним и предпоследним учетом; n — количество учетов.

ИУ вычисляли как отношение ПКРБ конкретного образца к ПКРБ максимально пораженного в опыте [4].

Содержание белка и сырой клейковины в зерне. Показатели определяли на приборе «Инфралюм-10 («Люмэкс», Россия) в трех биологических и трех аналитических повторностях.

Статистическая обработка результатов. Данные экспериментов обрабатывали с помощью программы Statistica-8. Вычисляли средние показатели, ошибку средней, наименьшую существенную разность НСР_{0,05} (при $p \leq 0,05$) [2].

Погодные условия проведения экспериментов. В мае 2025 г. выпали значительные осадки при температуре, превышающей средние многолетние значения. Июнь отличался малым количеством осадков при температурах, превышающих средние многолетние показатели на 3–6°C. В июле и августе выпали обильные осадки (до 50–60 мм в декаду) при умеренных температурах, что создало условия для интенсивного развития грибных болезней. Гидротермический коэффициент за период «май-август» составил ГТК = 1,5, что характеризует условия как избыточно увлажненные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение стимулирующего влияния препаратов на развитие пшеницы. В ходе экспериментов было изучено влияние препаратов Хит и Нх на процессы роста и развития пшеницы. Эти процессы, а также устойчивость растений к болезням в значительной степени определяют урожайность сортов. Важные для формирования урожайности процессы проходят в разные фазы развития растений. Урожайность пшеницы определяется числом растений на единице площади, а также массой зерна отдельных растений (продуктивностью).

Посев пшеницы проводили в третьей декаде мая во влажную прогретую почву. Условия способствовали быстрому и дружному прорастанию семян через 10 сут после посева. Кушение отмечено через 12–14 сут после всходов, выход в трубку — через 30 сут, колошение и цветение — 47 сут. Скорость развития растений на отдельных этапах влияет на вегетационный период (период «всходы-восковая спелость»). Вегетационный период в контрольном варианте составил 74 сут (табл. 1). После обработки Хит семян или растений этот период увеличивался на 1 сут, а после опрыскивания листьев композицией Хит-СК сокращался на 1 сут. Во всех вариантах обработки Нх вегетационный период сократился на 1–2 сут.

Высота растений увеличивалась после обработки Хит и Нх семян, а также однократного опрыскивания растений (за счет увеличения длины колоса). При двойной обработке семян и растений высота растений дополнительно увеличивалась. В вариантах с обработкой комбинациями препаратов с СК усиление роста растений было выражено в меньшей степени, а при двойном опрыскивании высота не изменялась.

Полевая всхожесть семян в контрольном варианте составила 65,5% (табл. 1). Обработка Хит семян привела к значительному повышению всхожести до 77,1–78,3% во всех вариантах опыта. После обработки Нх также отмечено достоверное, но менее выраженное повышение всхожести до 71,9–72,2%.

На продуктивность пшеницы влияют число продуктивных стеблей растения, число зерен в колосьях, эффективность налива зерна (масса 1000 зерен). Число побегов у растений пшеницы закладывается в фазе кушения, а зачатки колосьев — в фазе «выход в трубку» [8]. Обработка семян двумя препаратами значительно повышала число продуктивных стеблей на 1 погонном метре посева. Применение Хит привело к 39–57%-ному увеличению числа продуктивных стеблей в посеве, при этом выявлена достоверная стимуляция образования продуктивных стеблей отдельных растений. Обработка Нх семян вызывала 12–20%-ное повышение числа продуктивных стеблей в посеве, но существенного увеличения продуктивных стеблей индивидуальных растений не выявлено. Это свидетельствует о том, что Нх обеспечивал увеличение числа продуктивных стеблей в посеве преимущественно за счет стимуляции прорастания семян.

Число зерен в колосе зависит от числа колосков в колосе, которое определяется в фазу «выход в трубку», а также эффективности опыления цветков во время цветения. Обработка семян Хит привела к достоверному увеличению числа колосков в колосьях в среднем на 8%, а после опрыскивания растений число зерен главного колоса достоверно возросло на 10–17% (табл. 1). Применение Нх не изменяло числа колосков в колосе, но число зерен в колосе увеличивалось во всех вариантах опыта на 7–10% (кроме Нх-СК). Этот эффект, очевидно, связан со стимуляцией завязывания семян во время цветения.

Полученные нами результаты подтверждают полученные ранее на разных культурах о положительном влиянии хитозановых препаратов на всхожесть семян, усиление роста растений (включая высоту побегов, длину корней и проростков) и увеличение биомассы [6, 25, 28]. Ранее проведенные в лабораторных условиях эксперименты с 0,1%-ным Нх также показали стимуляцию прорастания семян, а также усиление роста корневой системы и повышение вегетативной массы пшеницы [36]. После двукратной обработки (в фазах кушения и колошения) комплексами Нх + ионы Cu^{2+} или Нх + Cu^{2+} + Хит в полевых условиях также установлено стимулирующее влияние на продуктивную кустистость, структуру колоса, высоту и массу растений пшеницы [1]. Сходное рост-стимулирующее влияние выявлено и в случае двукратной обработки семян и вегетирующих растений комплексами Нх + Хит и Нх + экстракт коры сосны сибирской. Причем смесь Хит с Нх оказывала более сильный стимулирующий эффект на пшеницу, чем другие композиции [8].

Таблица 1. Влияние обработки препаратами хитозана на вегетационный период, элементы структуры урожая и качество зерна яровой мягкой пшеницы Новосибирская 29

Table 1. The effect of chitosan preparations treatment on vegetation period, crop traits, and grain quality of spring bread wheat Novosibirskaya 29

Вариант опыта	Вегетационный период, сут.	Полевая всхожесть, %	Число продуктивных стеблей, шт./п.м.	Высота растений, см	Число дуктивных стеблей, шт./растение	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в главном колосе, шт.	Масса зерна растения, г	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, т/м ²	Белок, %	Сырая клейковина, %	Стекловидность, %
Контроль	74	65,5	71,5	82,1	1,10	8,13	12,3	25,2	1,56	38,8	289	14,7	31,4	58,1
Хит (с)	75	78,3*	99,5*	89,4*	1,27*	8,92*	13,5*	28,3*	1,81	39,5*	325*	14,6	31,1	58,3
Хит (л)	75	67,0	72,4	87,0*	1,08	8,61*	11,9	27,9*	1,92*	42,1*	338*	14,5	31,2	58,6
Хит (с+л)	74	77,8*	105,6*	94,0*	1,34*	9,14*	13,7*	29,4*	2,05*	41,9*	355*	14,5	31,3	58,9
Хит (с+л+л)	74	77,1*	112,1*	93,1*	1,40*	9,23*	13,3*	28,9*	2,12*	42,4*	416*	14,6	30,8	59,8*
Хит-СК (л)	73	64,1	73,1	86,1*	1,14	8,80*	11,8	28,0*	2,01*	42,5*	392*	15,1*	31,5	61,3*
Хит-СК (л+л)	73	66,1	70,5	85,2	1,07	8,76*	10,9	27,8*	2,25*	42,8*	395*	15,3*	31,8*	61,2*
Нх (с)	73	72,2*	80,2*	87,0*	1,11	8,65*	11,9	26,0	1,71	39,4*	307*	14,7	31,5	57,9
Нх (л)	73	64,7	72,5	86,3*	1,12	8,71*	12,0	27,2*	1,82	40,9*	314*	14,8	31,2	57,8
Нх (с+л)	73	72,4*	82,1*	91,4*	1,13	8,89*	12,7	27,5*	1,98*	41,8*	321*	14,4	31,5	57,9
Нх (с+л+л)	72	71,9*	86,0*	90,3*	1,20	8,45	11,8	27,1*	2,19*	41,6*	335*	14,4	31,6	58,0
Нх-СК (л)	73	65,9	72,6	86,9*	1,10	8,59*	12,7	27,8*	2,31*	43,1*	407*	14,9	31,6	59,0
Нх-СК (л+л)	72	66,2	75,2	84,2	1,14	8,65*	12,8	26,9	2,56*	43,5*	412*	15,2*	31,9*	58,7
НСР _{0,05}	-	4,31	4,68	3,8	0,15	0,45	0,66	1,80	0,35	0,26	17,3	0,22	0,32	1,24

Примечание: * достоверные различия с контролем при $p \leq 0,05$; Нх — новохизол; Хит — хитозан; с — обработка семян; л — однократное опрыскивание растений; л+л — двукратное опрыскивание растений.

Note: * Significant differences with the control at $p \leq 0,05$; Ch, chitosan; Nc, novochoizol; s, seed treatment; l, single spraying of plants; l + l, double spraying of plants,

В наших экспериментах показано более сильное и длительное стимулирующее влияние обработки семян Хит по сравнению с Нх. Действие Хит проявлялось в период «посев — выход в трубку» (около 40 сут) и сказывалось на всхожести семян, формировании продуктивных стеблей и элементов структуры колоса, в то время как Нх улучшал только всхожесть семян. Впервые показано, что оба препарата при обработке растений в фазе колошения оказывали положительное влияние на завязывание семян.

Изучение влияния препаратов на развитие грибных болезней. В июле и августе в регионе выпали обильные осадки, что способствовало интенсивному развитию болезней. Формирование зерна проходило на фоне сильного поражения растений комплексом болезней, вызываемых биотрофными и гемибитрофными грибами: мучнистой росой, бурой ржавчиной, стеблевой ржавчиной, септориозом листа и колоса.

Важную информацию о влиянии препаратов дают графики развития болезней, а также показатели ПКРБ и ИУ. ПКРБ отражает скорость и длительность поражения образцов болезнью. ИУ дает возможность оценить устойчивость конкретного образца по сравнению с максимально пораженным с учетом интенсивности инфекционного фона. Увеличение ПКРБ и ИУ коррелирует с потерями урожая зерна пшеницы [4].

Мучнистая роса проявилась на растениях ранее других болезней (15 июля). Болезнь прогрессивно развивалась на контрольных растениях, поражение достигало 90% 9 августа (рис. 1 а). ПКРБ по мучнистой росе в контрольном варианте составила 2300 (табл. 2). Однократное опрыскивание Хит привело к небольшому замедлению развития болезней, что снизило ПКРБ и ИУ до 2180 и 0,94 соответственно. Двукратное опрыскивание Хит усилило защиту растений и вызвало достоверное снижение ПКРБ на 10% (ИУ = 0,90). Применение Нх во всех вариантах опыта не повлияло на развитие болезни. Наибольший ингибирующий эффект на развитие мучнистой росы оказала обработка растений комплексными препаратами с СК. Комплекс Нх-СК оказал более сильное, по сравнению с Хит-СК, действие (ИУ = 0,79 и 0,85 соответственно). Повторное опрыскивание не усиливало защитное действие комплексных препаратов.

Бурая ржавчина проявлялась на нижних листьях пшеницы 22 июля, а к 30 июля поражение контрольных растений достигло 90%. Обработка семян Хит и Нх практически не повлияла на динамику развития болезни и ПКРБ (табл. 2, рис. 1 б). После однократного опрыскивания вегетирующих растений 23 июля в фазе колошения отмечено небольшое замедление развития ржавчины, при этом в вариантах с Хит ИУ снизился на 0,17–0,19, а с Нх — на 0,07–0,09, но к финальной оценке по-

ражение растений усилилось. После повторной обработки растений Хит и Нх развитие болезни дополнительно замедлилось: ИУ = 0,73 и 0,88 соответственно. Обработка растений комплексами с СК обеспечивала более сильное подавление бурой ржавчины, чем чистыми препаратами Хит и Нх. При этом комплекс Нх-СК сильнее защищал пшеницу, чем Хит-СК (ИУ = 0,67 и 0,76 соответственно). Реакция растений в разных вариантах опыта оставалась восприимчивой (табл. 2).

Стеблевая ржавчина появилась на посевах значительно позже бурой (9 августа) и развивалась на растениях, предварительно обработанных препаратами. Контрольные растения при финальной оценке были поражены до 80% (табл. 2, рис. 1 в). Обработка семян Хит и Нх существенно не повлияла на развитие болезни (ИУ = 0,97). После однократного опрыскивания растений Хит развитие болезни существенно замедлилось (ИУ = 0,67–0,78), еще больший эффект проявился после двукратной обработки препаратом (ИУ = 0,58). Защитный эффект однократной обработки Хит-СК против стеблевой ржавчины был аналогичен двукратному применению чистого Хит (ИУ = 0,59 и 0,58 соответственно). Повторная обработка растений раствором Хит-СК существенно не повлияла на результаты оценки. Однократная и двукратная обработка растений Нх привела к меньшему подавлению стеблевой ржавчины, по сравнению с Хит (ИУ = 0,86–0,89 и 0,81 соответственно). В то же время, однократное применение комплекса Нх-СК вызвало наиболее интенсивное подавление стеблевой ржавчины, которое незначительно усиливалось после повторной обработки растений (ИУ = 0,47 и 0,44 соответственно). Реакция растений на заражение стеблевой ржавчиной после обработки препаратами оставалась восприимчивой (табл. 2).

Ранее было показано, что обработка растений производными хитозана, особенно в сочетании с бактериями рода *Bacillus*, приводила к активации компонентов про-антиоксидантной системы (пероксида водорода, супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы) [39]. В экспериментах с пшеницей, обработанной Нх, также зарегистрировано высокое накопление пероксида водорода, что ограничивало спорулирующую активность возбудителя стеблевой ржавчины *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* [13].

Первые септориозные пятнистости появлялись на листьях пшеницы одновременно со стеблевой ржавчиной. Листья контрольных растений при финальной оценке были поражены до 80% (табл. 2, рис. 1 г). Обработка семян Хит достоверно снижала поражение листьев септориозом (ИУ = 0,91), в то время как эффект Нх не проявлялся. Одно- и двукратная обработка растений Хит приводила к дополнительному подавлению болезни (ИУ = 0,73–0,78 и 0,66 соответственно). Одно- и дву-

кратное опрыскивание Нх в меньшей степени снижало поражение септориозом (ИУ = 0,82 и 0,76 соответственно). Однако обработка растений комплексом Нх-СК приводила к наиболее значительному замедлению развития листовой формы септориоза, особенно выраженному при двукратном применении препарата (ИУ = 0,58 и 0,53 соответственно). Защитное действие комплекса Хит-СК было выражено в меньшей степени (ИУ при одно- и двукратной обработке (ИУ = 0,66 и 0,61 соответственно). Защитный эффект однократной обработки Хит-СК против септориоза листа был аналогичен двукратному применению чистого Хит (ИУ = 0,66).

Септориоз колоса проявлялся позже других болезней, но к созреванию контрольный вариант

пшеницы был поражен до 80%. Обработка семян Хит и Нх приводила к достоверному небольшому снижению поражения колосьев (ИУ = 0,89 и 0,91 соответственно). Однократное опрыскивание Хит вызывало снижение развития болезни (ИУ = 0,68–0,74), а двукратное усиливало подавление болезни (ИУ = 0,59). Однократная и двукратная обработка комплексом Хит-СК имела эффект, сходный с двукратной обработкой чистым Хит (ИУ = 0,59–0,61). Одно- и двукратное опрыскивание растений чистым Нх в меньшей степени снижало поражение, по сравнению с Хит (ИУ = 0,77–0,83 и 0,78 соответственно). Но защитное действие композиции Нх-СК проявлялось наиболее интенсивно и усиливалось после повторной обработки (ИУ = 0,56 и 0,48 соответственно).

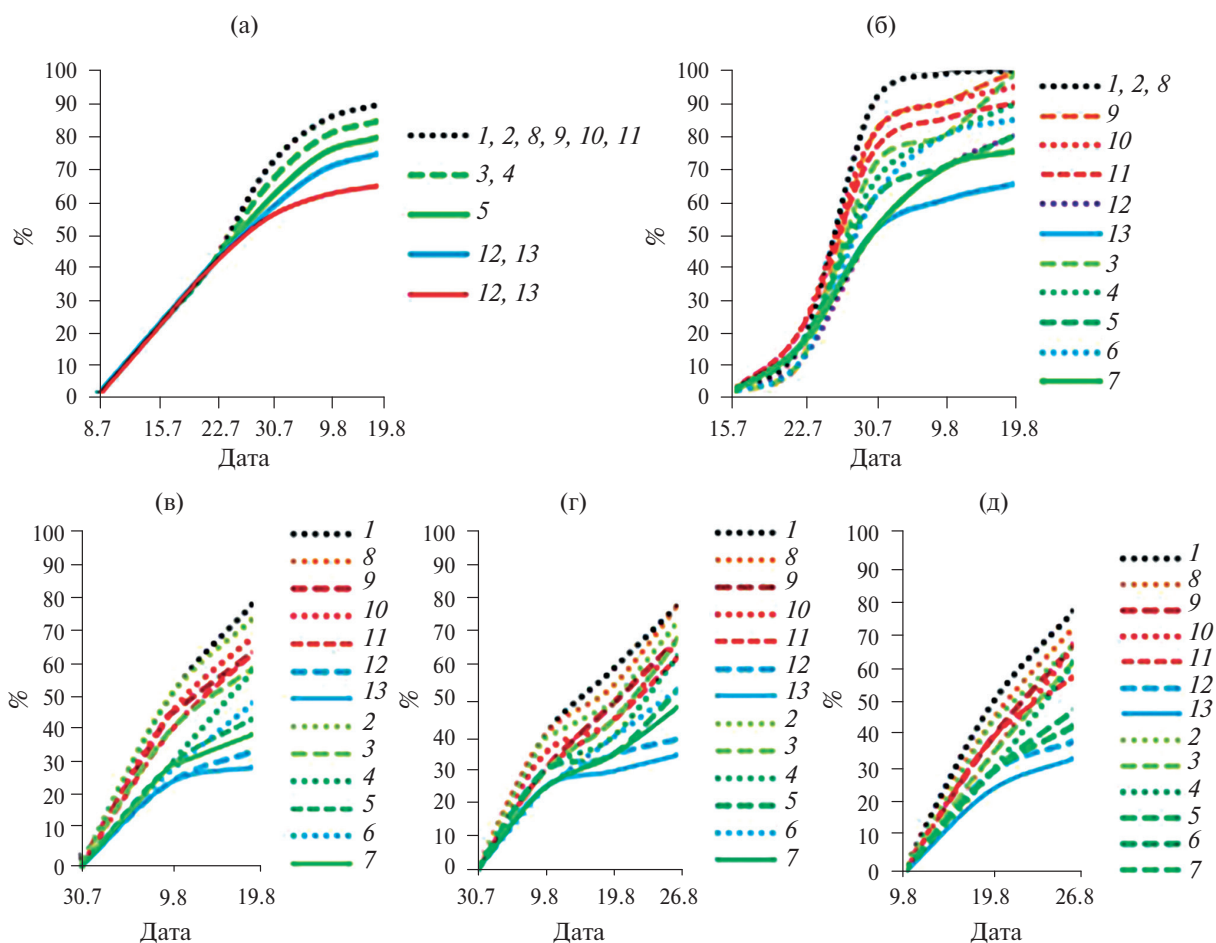


Рис. 1. Динамика поражения сорта яровой мягкой пшеницы Новосибирская 29 болезнями: мучнистой росой (а), бурой ржавчиной (б), стеблевой ржавчиной (в), септориозом листа (г) и септориоза колоса (д): 1 — контроль; 2 — Хит (с); 3 — Хит (л); 4 — Хит (с + л); 5 — Хит (с + л + л); 6 — Хит-СК (л); 7 — Хит-СК (л + л); 8 — Нх (с); 9 — Нх (л); 10 — Нх (с + л); 11 — Нх (с + л + л); 12 — Нх-СК (л); 13 — Нх-СК (л + л). Нх — новохизоль; СК — салициловая кислота; Хит — хитозан; (с) — обработка семян; (л) — однократное опрыскивание растений; (л+л) — двукратное опрыскивание растений

Fig. 1. Dynamics of damage of spring bread wheat variety Novosibirskaya 29 by diseases: (a) powdery mildew, (б) leaf rust, (в) stem rust, (г) Septoria blotch on leaves, (д) Septoria blotch on ears: 1, control; 2, Ch (s); 3, Ch (l); 4, Ch (s + l); 5, Ch (s + l + l); 6, Ch—SA (l); 7, Ch—SA (l + l); 8, Nc (s); 9, Nc (l); 10, Nc (s + l); 11, Nc (s + l + l); 12, Nc—SA (l); 13, Nc—SA (l + l). Notes: Ch, chitosan; Nc, Novochizol; SA, salicylic acid

Таблица 2. Результаты изучения развития болезней на яровой мягкой пшенице после обработки хитозаном в Западной Сибири
Table 2. The results of studying diseases development of on spring bread wheat after chitosan preparations treatment in Western Siberia

Вариант опыта	Мучнистая роса			Бурая ржавчина			Стеблевая ржавчина			Септориоз				
	пораже- ние, %	ПКРБ, у. е.	ИУ	реак- ция/%	ПКРБ, у. е.	ИУ	% реакция	ПКРБ, у. е.	ИУ	листь/ колос, %/ %	листь		колос	
											ПКРБ, у. е.	ИУ		ПКРБ, у. е.
Контроль	90	2300	1,00	4/100	2413	1,00	80S	900	1,00	80/80	1190	1,00	705	1,00
Хит (с)	90	2300	1,00	4/100	2398	0,98	70S	875	0,97	75/70	1088*	0,91	628*	0,89
Хит (л)	90	2180	1,00	4/100	2005*	0,83	60S	700*	0,78	70/65	928*	0,78	525*	0,74
Хит (с+л)	85	2180	0,95	4/90	1848*	0,81	55S	600*	0,67	65/65	868*	0,73	483*	0,68
Хит (с+л+л)	85	2060*	0,90	4/80	1753*	0,73	45S	525*	0,58	55/45	790*	0,66	413*	0,59
Хит-СК (л)	90	1958*	0,85	3/85	1840*	0,76	60MS	530*	0,59	55/50	783*	0,66	433*	0,61
Хит-СК (л+л)	80	1958*	0,85	3/75	1638*	0,68	50MS	500*	0,56	50/45	723*	0,61	413*	0,59
Нх (с)	90	2300	1,00	4/100	2405	0,99	70S	875	0,97	80/75	1148	0,96	645*	0,91
Нх (л)	90	2300	1,00	4/100	2195*	0,91	65S	775*	0,86	70/70	970*	0,82	585*	0,83
Нх (с+л)	90	2300	1,00	4/95	2245	0,93	70S	800*	0,89	70/70	978*	0,82	543*	0,77
Нх (с+л+л)	90	2300	1,00	4/90	2125*	0,88	65S	725*	0,81	65/60	910*	0,76	550*	0,78
Нх-СК (л)	80	1810*	0,80	3/80	1625*	0,67	50MS	425*	0,47	40/40	688*	0,58	395*	0,56
Нх-СК (л+л)	70	1810*	0,80	3/65	1488*	0,62	30MS	400*	0,44	35/35	628*	0,53	335*	0,48
НСР _{0,05}	—	218	—	—	206	—	—	73	—	—	92	—	66	—

Примечание: *достоверные различия с контролем при $p \leq 0,05$; Нх — novoхизол; Хит — хитозан; с — обработка семян; л — однократное опрыскивание растений; л+л — двукратное опрыскивание растений.

Note: *significant differences with the control at $p < 0,05$; Ch — chitosan; Nh — novoхизол; s — seed treatment; l — single plants spraying; l+l — double plants spraying.

Ранее проведенные исследования показали различное действие хитозановых препаратов на грибные болезни, что может быть обусловлено различными факторами: биологией патогенов, функциональными особенностями препаратов, способами, количеством и временем обработок, условиями среды и др. В условиях недостаточного увлажнения применение препаратов на основе Нх и Хит против септориоза было малоэффективным [8]. Комплексы [Хит + Нх] и [Хит + Cu^{2+} + Нх] были малоэффективны против мучнистой росы при разной интенсивности ее развития в засушливые сезоны (2022–2023 гг.) в Западной Сибири [1]. Однако в следующие годы (из них 2024 г. был влажным) обработка семян смесью [Хит + Нх] приводила к 13%-ному, а двукратное опрыскивание вегетирующих растений (в фазах кушения и колошения) — к 42%-ному снижению ПКРБ мучнистой росы [8]. Ранее для Западной Сибири было показано, что 3-кратная обработка пшеницы смесью [Хит + Нх] (семена, растения в фазах кушения и колошения) приводила к более выраженному, чем в настоящей работе, подавлению бурой ржавчины: снижению ПКРБ на 49% по отношению к контролю [8]. Возможно, это объяснялось тем, что обработка растений в фазе кушения более эффективна при раннем развитии мучнистой росы и бурой ржавчины на пшенице. В других опытах 5-кратное применение (обработка семян и 4-кратное опрыскивание растений до фазы цветения) препарата Хит-СК (0,1%-ный хитозан 60 кДа, с 25%-ной ионно-связанной СК) приводило к полному подавлению мучнистой росы и септориоза на посевах [6]. Ранее также был показан значительный эффект от обработки семян смесью Хит и Нх против некротрофных возбудителей корневой гнили пшеницы [8]. Хитозановые препараты обеспечивали сильное ингибирование инфекции семян, вызываемой видами родов *Fusarium* и *Alternaria* [22, 35].

В целом, проведенные эксперименты выявили некоторые общие закономерности влияния препаратов Хит и Нх на развитие грибных болезней, вызываемых биотрофными и гембиотрофными патогенами. По отношению к болезням, вызываемым биотрофами, защитное значение этих препаратов повышалось в ряду «мучнистая роса — бурая ржавчина — стеблевая ржавчина». Развитие гембиотрофных возбудителей септориоза подавлялось сильнее, чем биотрофных, при этом препараты были наиболее действенны в отношении колосовой формы септориоза. Такое влияние препаратов может быть объяснено как биологическими различиями между биотрофными и гембиотрофными патогенами, так и тем, что в связи с задержкой проявления болезней возбудители стеблевой ржавчины и септориозных болезней развивались на растениях, предварительно обработанных индукторами устойчивости.

В настоящей работе обработка семян не оказывала достоверного влияния на устойчивость пшеницы к биотрофам, но выявлен небольшой пролонгированный защитный эффект от гембиотрофов. Обработка вегетирующих растений чистым препаратом Хит оказывала большее действие, чем чистым Нх, и воздействие препаратов усиливалось после повторных обработок. Добавление к Хит и Нх СК значительно усиливало эффекты отдельных препаратов. Эти данные подтверждают ранее полученные результаты о том, что эффективность комплекса Хит-СК как индуктора устойчивости в 1,2–2,0 раза превышала действие чистого Хит, что было продемонстрировано на примере бурой ржавчины, вызываемой биотрофом *P. trititica*, и темно-бурой пятнистости, вызываемой гембиотрофом *Cochliobolus sativus* Drechs. Замена СК на ванилин сохраняла устойчивость пшеницы к *C. sativus*, но устраняла защитное действие от *P. trititica* [11].

Комплекс Нх-СК оказывал более выраженное защитное влияние, чем Хит-СК, и его действие усиливалось при повторном применении. Это может быть связано с физико-химическими особенностями глобулярной структуры Нх. Ранее было показано, что Нх обладает лучшей проницаемостью в ткани растений. Вероятно, в комплексе с Нх усиливалось и проникновение в ткани СК. Усиление действия Хит и Нх в комплексе с СК, вероятно, связано с усилением активности СК-зависимого сигнального каскада, играющего определяющую роль в защите от биотрофных патогенов [36]. Повышение устойчивости пшеницы к септориозу после обработки комплексами Хит-СК и Нх-СК может быть связано с тем, что в управлении защитными реакциями растений против гембиотрофов совместно действуют СК-зависимый и зависимый от жасмоновой кислоты каскады [14].

При вспышках каждой из оцененных болезней потери урожая зерна пшеницы могут достигать 30–70% [31]. Проведенные исследования показали выраженный защитный эффект Хит, Нх и их комплексов с СК против комплекса наиболее вредоносных в Западной Сибири болезней. Реальная урожайность сорта в полевых условиях зависит от интегрального рост-стимулирующего и защитного действия препаратов. Лучшие показатели урожайности были получены в вариантах с трехкратной обработкой Хит, а также при двукратном опрыскивании растений комплексами Хит-СК и Нх-СК (44, 36 и 43% соответственно, табл. 1). В лучших вариантах с Хит (3-кратная обработка и 2-кратная обработка Хит-СК) прибавка урожая составила 127 и 123 г/м², что соответствует 1,23 т/га и 1,26 т/га. Повышение урожайности в вариантах с Хит в большей степени обеспечивалось стимуляцией роста и развития растений, а в вариантах с Нх-СК — лучшей защитой растений на этапе формирования зерна.

Известно, что поражение пшеницы листовыми болезнями, а также септриозом колоса вызывает нарушение налива зерна и ухудшение основных показателей, определяющих хлебопекарные качества зерна (содержание белка, сырой клейковины и стекловидности) [5, 32]. О более эффективном защитном действии комплекса Нх-СК свидетельствовала самая высокая масса 1000 зерен. Достоверное увеличение содержания белка и сырой клейковины в зерне проявилось только после обработки комплексами Хит-СК и Нх-СК (табл. 1). В вариантах с трехкратной обработкой Хит и комплексом Хит-СК также установлено повышение стекловидности зерна. Однако ранее при слабом развитии бурой ржавчины и септориоза влияния препаратов на основе Нх на массу 1000 зерен и количество белка в зерне не было выявлено [1].

Для эффективного использования биопрепаратов в производстве необходимо использовать их в оптимальных сочетаниях, а также при обоснованном количестве и времени обработок. Немаловажным является вопрос стоимости защиты посевов, так как исходный Хит дешевле Нх [1]. Проведенные исследования показали более выраженный эффект Хит, полученного из экзоскелета креветки *Pandalus borealis*, на рост и развитие яровой пшеницы по сравнению с Нх. В то же время защитное действие комплекса Нх с СК в условиях вспышки развития грибных болезней проявлялось сильнее, чем с препаратами Хит.

В результате проведенных исследований были получены данные о влиянии препаратов, созданных на основе Хит из креветки *Pandalus borealis*, включая линейную и глобулярную форму (Нх), на рост и развитие яровой мягкой пшеницы, а также защиту от комплекса болезней, вызываемых биотрофными и гемибитрофными грибами. Результаты показали, что обработка семян линейным

Хит повышала полевую всхожесть, усиливала образование стеблей и элементов структуры колоса, в то время как Нх только стимулировал прорастание семян. Оба препарата положительно влияли на высоту растений, а после обработки вегетирующих растений способствовали завязываемости семян во время цветения. Применение Нх приводило к ускорению созревания растений на 1–2 сут во всех вариантах опыта. В условиях, способствующих поражению болезнями, Хит и Нх по-разному проявляли защитный эффект. Двукратное опрыскивание растений Хит приводило к подавлению развития болезней, вызываемых биотрофами: в меньшей степени — мучнистой росы, в большей мере — бурой и стеблевой ржавчины (ИУ = 0,90, 0,73 и 0,58 соответственно), а также более значительное подавление развития септориоза листа и колоса, вызываемых гемибитрофными грибами (0,66 и 0,59 соответственно). Нх не оказал значимого действия на развитие мучнистой росы и подавлял развитие бурой и стеблевой ржавчины в меньшей степени, чем Хит (ИУ = 0,88 и 0,81 соответственно). Комплексы Хит и Нх с СК оказывали более сильное защитное действие по сравнению с чистыми препаратами. Наиболее эффективным было двукратное применение комплекса Нх-СК, что привело к подавлению развития всех болезней (по ПКРБ) в 1,3–1,4 раза по сравнению с чистым препаратом. В лучших вариантах с Хит (обработка семян и 2-кратное опрыскивание растений или 2-кратная обработка Хит-СК) прибавка урожая зерна составила 1,23–1,26 т/га, а в результате 2-кратной обработки комплексом Нх с СК — 1,15 т/га. После двойной обработки комплексами Хит и Нх с СК отмечено улучшение хлебопекарных свойств зерна. Увеличение урожая пшеницы в вариантах с Хит в большей степени обеспечивалось рост-стимулирующим эффектом, а Нх с СК — защитой от комплекса болезней, вызываемых грибами с разным типом питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурлакова С.В., Егорычева М.Т., Кудашкин П.И. и др. // Вестник защиты растений. 2025. Т. 108. № 1. С. 4–12. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2025-108-1-16725>
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.
3. Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие. Под ред. Е.Е. Радченко. М.: Россельхозакадемия, 2008. 416 с.
4. Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Киселева М.И. и др. // Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине: методические рекомендации. М.: ВНИИФ, 2012. 93 с.
5. Койшыбаев М. // Болезни пшеницы. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), 2018. 394 с.
6. Колесников Л.Е., Попова Э.В., Новикова И.И. и др. // Прикл. биохимия и микробиология. 2022. Т. 58. № 3. С. 294–301. <https://doi.org/10.31857/S0555109922030072>

7. Новикова И.И., Попова Э.В., Колесников Л.Е., Колесникова Ю.Р., Чекурова С.С. // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 1. С. 158–183. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.158>
8. Орлова Е.А., Бехтольд Н.П., Щербань А.Б., Фоменко В.В. // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 2. С. 86–93. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-97-2-86-93>
9. Плотникова Л.Я., Штубей Т.Ю. // Цитология. 2009. Т. 51. № 1. С. 43–52.
10. Попова Э.В., Домнина Н.С., Коваленко Н.М., Сокорнова С.В., Тютерев С.Л. // Прикл. биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 5. С. 540–545. <https://doi.org/10.1134/S055510991805015X>
11. Попова Э.В., Домнина Н.С., Сокорнова С.В., Коваленко Н.М., Тютерев С.Л. // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 158–170. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.158rus>
12. Тютерев С.Л. Научные основы индуцированной болезнестойчивости растений. СПб.: ООО «Инновационный центр защиты растений». ВИЗР, 2002. 328 с.
13. Щербань А.Б., Плотникова Л.Я., Кнауб В.В., Сколотнева Е.С., Фоменко В.В. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2025. Т. 29. № 4. С. 539–548. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-57>
14. Ярулина Л.Г., Калацкая Ж.Н., Черепанова Е.А. и др. // Прикл. биохимия и микробиология. 2023. Т. 59. № 5. С. 427–439. <https://doi.org/10.31857/S0555109923050185>
15. Abd-Ellatif S., Ibrahim A.A., Safhi F.A. et al. // Plants (Basel). 2022. V. 11. P. 3129. <https://doi.org/10.3390/plants11223129>
16. Chandler D., Bailey A.S., Tatchell G.M. et al. // Philos. Trans. R Soc. Lond. B. Biol. Sci. 2011. V. 366. P. 1987–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0390>
17. Chen J., Gutjahr C., Bleckmann A., Dresselhaus T. // Mol. Plant. 2015. V. 8. P. 595–611. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.01.023>
18. Chen X.M. // Can. J. Plant Pathol. 2005. V. 27. P. 314–337. <https://doi.org/10.1080/07060660509507230>
19. Eyal Z., Scharen A.L., Prescott J.M., van Ginkel M. The Septoria Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. CIMMYT. 1987. 46 p.
20. FAO Report. The impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security. Rome: FAO, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb3673en>
21. Haggag W.M.W., Hussein M.M., Medhat M.T., El Habbasha S.F. // Int. J. Sci. Res. 2014. V. 3 № 11. P. 1526–1530.
22. Hassan F.A.S., Ali E., Gaber A., Fetouh M.L., Mazrou R. // Plant Physiol. Biochem. 2021. V. 162. P. 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.004>
23. Knaub V.V., Plotnikova L.Ya. // Appl. Biochem. Microbiol. 2024. V. 60. № 6. P. 1301–1312. <https://doi.org/10.1134/S0003683824605298>
24. Kumar R., Najda A., Duhan J.S. et al. // Polymers (Basel). 2021. V. 14. № 1. P. 41. <https://doi.org/10.3390/polym14010041>
25. Lizárraga-Paulín E., Miranda-Castro S., Moreno-Martínez E., Lara-Sagahón A., Torres-Pacheco I. // J. Zhejiang. Univ. Sci. B. 2013. V. 14. № 2. P. 87–96. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1200270>
26. Mains E.B., Jackson E.S. // Phytopathology. 1926. V. 16. № 1. P. 89–120.
27. Malerba M., Cerana R. // Int. J. Mol. Sci. 2016. V. 17. № 7. № 996. <https://doi.org/10.3390/ijms1707099>
28. Orzali L., Corsi B., Forni C., Riccioni L. // In: Biological Activities and Application of Marine Polysaccharides. /Ed. E.A. Shalaby. Intech Open. 2017. P. 87–96. <https://doi.org/10.5772/66840>
29. Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. // Can. J. Res. 1948. V. 26. P. 496–500.
30. Plotnikova L.Y. // Russian Journal of Plant Physiology. 2009. V. 56. № 1. P. 517–526.
31. Plotnikova L.Ya., Knaub V.V. // Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2024. V. 28. № 5. P. 536–553. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-60>
32. Plotnikova L., Sagendykova A., Pozherukova V. // Agriculture. V. 2023. № 13. P. 203. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010203>
33. Ruffatto K., Minello L.V.P., Furtado B.G., Johann L., Sperotto R.A. // Physiol Plant. 2025. V. 177. P. 1–12. <https://doi.org/10.1111/ppl.70227>
34. Savari S., Willocquet L., Pethybridge S.J., Esker P., McRoberts N., Nelson A. // Nat. Ecol. Evol. 2019. V. 3. № 3. P. 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
35. Shivam M., Sunil K., Kamlesh K.J., Poonam K. // J. Pharmacogn. Phytochem. 2019. V. 8. № 5. P. 2281–2286.
36. Teplyakova O.I., Fomenko V.V., Salakhutdinov N.F., Vlasenko N.G. // Chemistry & Research. 2022. V. 10. № 5. P. 1–4. <https://doi.org/10.35248/naturalproducts.10.5.104>

37. Tottman D.R., Makepeace R.J. // *Annals of Applied Biology*. 1979. Т. 93. С. 221–234.
38. World Agricultural Production. USDA Foreign Agricultural Service. Washington, DC, USA, 2016.
39. Yarullina L., Kalatskaja J., Tsvetkov V., Burkhanova G., Yaloukaya N., Rybinskaya K., et al. // *Plants*. 2024. V. 13. № 16. P. 2210. <https://doi.org/10.3390/plants1316221040>
40. Zhang M., Zhang F., Li C., An H., Wan T., Zhang P. // *Polymers (Basel)*. 2022. V. 14. P. 958. <https://doi.org/10.3390/polym14050958>

REFERENCES

1. Burlakova S.V., Egorycheva M.T., Kudashkin P.I. et al. *Vestn. Zashch. Rast. – Plant Prot. News*, 2025, vol. 108, no. 1, pp. 4–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2025-108-1-16725>
2. Dospel'kov B.A. *Metodika polevogo opyta (Field Experiment Methodology)*, Moscow: Kolos, 1985, 351 p. (In Russ.)
3. Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoichivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoe posobie (Study of Genetic Resources of Cereal Crops for Resistance to Harmful Organisms. Methodological Guide). Ed., E.E. Radchenko. Moscow: Rossel'khozakademiya, 2008, 416 p. (In Russ.)
4. Kovalenko E.D., Kolomiets T.M., Kiseleva M.I. et al. *Metody otsenki i otbora iskhodnogo materiala pri sozdanii sortov pshenitsy ustoichivyykh k buroi rzhavchine: metodicheskie rekomendatsii (Methods for Evaluating and Selecting Source Material When Creating Wheat Varieties Resistant to Brown Rust: Methodological Recommendations)*, Moscow: VNIIF, 2012, 93 p. (In Russ.)
5. Koishybaev M. *Bolezni pshenitsy (Wheat Diseases)*, Ankara: Prodoval'stvennaya i sel'skokhozyaistvennaya organizatsiya OON (FAO), 2018, 394 p. (In Russ.)
6. Kolesnikov L.E., Popova E.V., Novikova I.I., Kolesnikova Yu.R., Balagurova E.D. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2022, vol. 58, no. 3, pp. 294–301. <https://doi.org/10.31857/S0555109922030072>
7. Novikova I.I., Popova E.V., Kolesnikov L.E., Kolesnikova Yu.R., Chekurova S.S. *Agric. Biol.*, 2023, vol. 58, no. 1, pp. 158–183. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.158>
8. Orlova E.A., Bekhtol'd N.P., Shcherban A.B., Fomenko V.V., *Zernovoe Khozyaistvo Rossii – Grain Production of Russia*, 2025, vol. 17, no. 2, pp. 86–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-97-2-86-93>
9. Plotnikova L.Ya., Shtubei T.Yu. *Tsitologiya*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 43–52. (In Russ.)
10. Popova E.V., Domnina N.S., Kovalenko N.M., Sokornova S.V., Tyuterev S.L. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2018, vol. 54, no. 5, pp. 535–539. <https://doi.org/10.1134/S0003683818050150>
11. Popova E.V., Domnina N.S., Sokornova S.V., Kovalenko N.M., Tyuterev S.L., *Agric. Biol.*, 2021, vol. 56, no. 1, pp. 158–170. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.1.158rus>
12. Tyuterev S.L., *Nauchnye osnovy induktivnoy bolezneustoichivosti rastenii (Scientific Basis of Induced Disease Resistance in Plants)*, St. Petersburg: OOO “Innovatsionnyi tsentr zashchity rastenii,” VIZR, 2002, 328 p. (In Russ.)
13. Shcherban A.B., Plotnikova L.Ya., Knaub V.V., Skolotneva E.S., Fomenko V.V. *Vavilov J. Genet. Breed.* 2025, vol. 29, no. 4, pp. 539–548. <https://doi.org/10.18699/vjgb-25-57>
14. Yarullina L.G., Kalatskaja J.N., Cherepanova E.A. et al. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2023, vol. 59, no. 5, pp. 549–560. <https://doi.org/10.1134/S0003683823050186>
15. Abd-Ellatif S., Ibrahim A.A., Safhi F.A. et al. *Plants (Basel)*, 2022, vol. 11, 3129. <http://doi:10.3390/plants11223129>
16. Chandler D., Bailey A.S., Tatchell G.M. et al. *Philos. Trans. R Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 2011, vol. 366, pp. 1987–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0390>
17. Chen J., Gutjahr C., Bleckmann A., Dresselhaus T. *Mol. Plant*, 2015, vol. 8, pp. 595–611. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.01.023>
18. Chen X.M. *Can. J. Plant Pathol.*, 2005, vol. 27, pp. 314–337. <https://doi.org/10.1080/07060660509507230>
19. Eyal Z., Scharen A.L., Prescott J.M., van Ginkel M. *The Septoria Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMYT, 1987, 46 p.
20. *FAO Report. The impact of Disasters and Crises on Agriculture and Food Security*. Rome: FAO, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb3673en>
21. Haggag W.M.W., Hussein M.M., Medhat M.T., El Habbasha S.F. *Int. J. Sci. Res.*, 2014, vol. 3, no. 11, pp. 1526–1530.
22. Hassan F.A.S., Ali E., Gaber A., Fetouh M.L., Mazrou R. *Plant Physiol. Biochem.*, 2021, vol. 162, pp. 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.004>
23. Knaub V.V., Plotnikova L.Ya. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2024, vol. 60, no. 6, pp. 1301–1312. <https://doi.org/10.1134/S0003683824605298>

24. Kumar R., Najda A., Duhan J.S. et al. *Polymers* (Basel), 2021, vol. 14, no. 1, p. 41.
<https://doi.org/10.3390/polym14010041>
25. Lizárraga-Paulín E., Miranda-Castro S., Moreno-Martínez E., Lara-Sagahón A., Torres-Pacheco I. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.*, 2013, vol. 14, no. 2, pp. 87–96. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1200270>
26. Mains E.B., Jackson E.S. *Phytopathol.*, 1926, vol. 16, no. 1, pp. 89–120.
27. Malerba M., Cerana R. *Int. J. Mol. Sci.*, 2016, vol. 17, no. 7, p. 996. <https://doi.org/10.3390/ijms1707099>
28. Orzali L., Corsi B., Forni C., Riccioni L. In: *Biological Activities and Application of Marine Polysaccharides*. Ed. E.A. Shalaby. Intech Open, 2017, pp. 87–96. <https://doi.org/10.5772/66840>
29. Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. *Can. J. Res.*, 1948, vol. 26, pp. 496–500.
30. Plotnikova L.Y. *Russ. J. Plant Physiol.*, 2009, vol. 56, no. 1, pp. 517–526.
31. Plotnikova L.Ya., Knaub V.V. *Vavilov J. Genet. Breed.*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 536–553.
<https://doi.org/10.18699/vjgb-24-60>
32. Plotnikova L., Sagendykova A., Pozherukova V. *Agriculture*, 2023, 13, 203. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010203>
33. Ruffatto K., Minello L.V.P., Furtado B.G., Johann L., Sperotto R.A. *Physiol Plant.*, 2025, vol. 177, pp. 1–12.
<https://doi.org/10.1111/ppl.70227>
34. Savari S., Willocquet L., Pethybridge S.J., Esker P., McRoberts N., Nelson A. *Nat. Ecol. Evol.*, 2019, vol. 3, no 3, pp. 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
35. Shivam M., Sunil K., Kamlesh K.J., Poonam K. *J. Pharmacogn. Phytochem.*, 2019, vol. 8, no. 5, pp. 2281–2286.
36. Teplyakova O.I., Fomenko V.V., Salakhutdinov N.F., Vlasenko N.G. *Chemistry & Research.*, 2022, vol. 10, no. 5, pp. 1–4. <https://doi.org/10.35248/naturalproducts.10.5.104>
37. Tottman D.R., Makepeace R.J. *Ann. Appl. Biol.*, 1979, vol. 93, pp. 221–234.
38. *World Agricultural Production. USDA Foreign Agricultural Service*. Washington, DC, USA, 2016.
39. Yarullina L., Kalatskaja J., Tsvetkov V., et al. *Plants*, 2024, vol. 13, no. 16, pp. 2210.
<https://doi.org/10.3390/plants1316221040>
40. Zhang M., Zhang F., Li C., An H., Wan T., Zhang P. *Polymers* (Basel), 2022, vol. 14, p. 958.
<https://doi.org/10.3390/polym14050958>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Плотникова Людмила Яковлевна — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Российская Федерация
E-mail: lya.plotnikova@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0002-9287-9870>

Кнауб Валерия Вячеславовна — кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры агрономии, селекции и семеноводства, Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Российская Федерация
E-mail: vv.knaub@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0003-3035-0629>

Фоменко Владислав Викторович — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологически активных соединений, Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация
E-mail: fomenko@nioch.nsc.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1827-3309>

ABOUT THE AUTHORS

Plotnikova, Lyudmila Ya. — Dr. Sci. in Biology, Professor, Professor, Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation
E-mail: lya.plotnikova@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0002-9287-9870>

Knaub, Valeria V. — Cand. Sci. in Biology, Senior teacher, Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation
E-mail: vv.knaub@omgau.org
<https://orcid.org/0000-0003-3035-0629>

Fomenko, Vladislav V. — Cand. Sci. in Biology, Researcher, Laboratory of Physiologically Active Compounds, N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
E-mail: fomenko@nioch.nsc.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1827-3309>

Поступила в редакцию 21.11.2025
После доработки 17.12.2025
Принята к публикации 18.12.2025

Received November 21, 2025
Revised December 17, 2025
Accepted December 18, 2025