

УДК 632.938.2

ПРИМЕНЕНИЕ ХИТОЗАНА В ЗАЩИТЕ ПШЕНИЦЫ ОТ БОЛЕЗНЕЙ И ПОВЫШЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ

© 2022 г. Л. Е. Колесников¹, *, Э. В. Попова², И. И. Новикова²,
Ю. Р. Колесникова³, Е. Д. Балагурова¹

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет", Санкт-Петербург, 196601 Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, 196608 Россия

³Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, 190000 Россия

*e-mail: kleon9@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.08.2021 г.

После доработки 24.10.2021 г.

Принята к публикации 10.01.2022 г.

Изучена эффективность защитного действия двух комплексов хитозана с биологически активными веществами. Комплекс Хитозан I — включал 0.1%-ный раствор (по хитозану, хитозана 100 и 50 кДа (1 : 1), янтарную кислоту, глутаминовую кислоту, 0.025%-ную салициловую кислоту. Хитозан II включал 0.1%-ный раствор (по хитозану), хитозана 50 кДа, янтарную кислоту, глутаминовую кислоту; 0.0015%-ную индолилуксусную кислоту и 0.1%-ный салицилат хитозана 60 кДа, который имел в своем составе 25% ионно-связанных фрагментов салициловой кислоты. Комплексы Хитозан I и Хитозан II существенно снижали поражение пшеницы бурой ржавчиной и септориозно-пиренофорозной пятнистостью, а в варианте Хитозан I отмечено снижение развития мучнистой росы. Салицилат хитозана (0.1%) уменьшал степень поражения пшеницы корневой гнилью на 79%, желтой ржавчиной на 29.1%, подавлял развитие мучнистой росы, увеличивал урожайность на 32.8% и статистически достоверно повышал значения 55.6% показателей, характеризующих рост и развитие пшеницы, продуктивность и урожайность. Комплексы "Хитозан I" и "Хитозан II" оказали существенное влияние на 11.1% и 27.8% показателей продуктивности пшеницы соответственно.

Ключевые слова: мягкая пшеница, хитозановые составы, 0.1% салицилат хитозана, продуктивность, структура урожайности, корневая гниль, болезни листьев пшеницы

DOI: 10.31857/S0555109922030072

В настоящее время большое внимание при возделывании сельскохозяйственных культур уделяется ресурсосберегающим технологиям, основанным на использовании биопрепаратов, содержащих биологически активные вещества, в том числе различные органические соединения. Биопрепараты на основе хитозана могут стать альтернативой химическим препаратам, поскольку известно, что хитозан стимулирует рост и развитие растений, а также повышает фитоиммунитет [1]. Химические пестициды и удобрения, особенно при неправильном применении, могут наносить существенный урон агроэкосистемам и представлять реальную опасность для окружающей среды. Биопрепараты на основе хитозана можно использовать для замачивания семян, опрыскивания растений или внесения в почву. Однако в связи с тем, что хитозан не растворяется ни в органических растворителях, ни в воде, то в качестве основы препаратов целесообразно использовать его производные и их олигомеры [2].

Хитозан и его производные обладают выраженным антимикробным, противовирусным, фунгицидным действием [3]. Однако эффективность его олигомеров зависит от молекулярной массы хитозана [4]. В частности, сильным бактерицидным действием обладает N-карбоксивбутилхитозан [5], композиты хитозана, содержащие никель и медь [6].

Хитозан в концентрации 1.0 мг/мл ингибировал рост большинства микромицетов *in vitro*, однако некоторые микромицеты, в основном из класса зигомицет, проявляли устойчивость к фунгицидному действию хитозана, что обусловлено наличием в составе их клеточных стенок природного хитозана [7].

В работе [8] описаны 24 производных хитозана (N-алкил, N-бензилхитозаны, N-додецилхитозан, N-(2,6-дихлорбензил, N-(p-изопропилбензил и др.), обладающие фунгицидными свойствами, в частности, в отношении *Pyricularia grisea* и

Botrytis cinerea. Производное хитозана, полученное добавлением к хитозану N-метилефосфоно-вой кислоты, ингибировало развитие *Fusarium solani* f. sp. *eumartii* (*F. eumartii*), а также было эффективно против *Botrytis cinerea* и *Phytophthora infestans*. Кроме того, такая модификация хитозана обладала высокой избирательностью токсического действия на микромицетов, что особенно важно при разработке биопрепаратов на ее основе [9].

При воздействии на растения хитозан может стимулировать реакции сверхчувствительности и синтез фитоалексинов, защитных белков и ингибиторов протеиназ [10, 11].

При обработке пшеницы наночастицами салицилата хитозана на различных стадиях роста и развития растений выявлено повышение активности фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*) и ряда показателей, характеризующих структуру урожайности, в том числе, длину колоса, количество колосков в колосе, массу зерна колоса [12].

Хитозан и салициловая кислота (0.5 и 1.0 мМ) повышали устойчивость пшеницы к засухе, о чем свидетельствуют морфологические, физиологические и фитохимические характеристики растений. Роль хитозана и СК в снижении негативных последствий водного стресса и повышении засухоустойчивости растений обусловлена их участием в регуляции осмотического баланса растений путем накопления пролина и растворимых сахаров, снижения уровня малонового диальдегида и активацией антиоксидантной системы [13]. Положительное действие хитозана на пшеницу, возделываемую в условиях недостаточного увлажнения, подтверждается в работе [14].

Таким образом, профилактическая обработка растений хитозаном и его производными может способствовать повышению их адаптивного потенциала к условиям выращивания, способствует выработке антиоксидантных ферментов, вторичных метаболитов и абсцизовой кислоты [15].

В ВИЗР С. Л. Тютеревым [16] разработана концепция создания препаратов-индукторов на основе хитозана для применения в защите растений. Увеличение биологической эффективности препаратов достигается путем создания механической смеси хитозана с биологически активными веществами (БАВ) — сигнальными молекулами, физиологически активными органическими кислотами, в том числе — салициловой кислотой (СК), которая в качестве основного индуктора устойчивости занимает ключевую позицию в защите растений от вредных организмов [17].

Цель настоящей работы — анализ эффективности двух комплексов хитозана с добавлением различных биологически активных веществ и 0.1%-ного салицилата хитозана при выращивании мягкой пшеницы.

МЕТОДИКА

Для проведения исследований был использован сорт мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. Ленинградская 6, к-64900, предоставленный отделом генетических ресурсов пшеницы ВИРа.

Образцы пшеницы были высеяны на учетных делянках площадью 1.0 м² рядовым способом посева с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1–2 см (400 зерен/м²). Глубина заделки семян: 5–6 см. Полевой опыт по определению влияния хитозановых комплексов и 0.1%-ного салицилата хитозана на продуктивность пшеницы и интенсивность развития возбудителей болезней был заложен в трехкратной повторности.

— Схема опыта предусматривала четыре варианта: без обработки (контроль — вода);

— комплекс Хитозан I — 0.1%-ный раствор по хитозану: хитозан 100 кДа : хитозан 50 кДа (1 : 1), янтарная кислота, глутаминовая кислота, 0.025% салициловая кислота. Для приготовления 100 мл 0.1% раствора хитозана к 100 мг смеси хитозанов — хитозана 100 кДа : хитозана 50 кДа (1 : 1) добавляли 50 мг янтарной и 50 мг глутаминовой кислоты, в дальнейшем, смесь растворяли в 100 мл воды;

— комплекс Хитозан II — 0.1% раствор по хитозану: Хитозан 50 кДа; янтарная кислота, глутаминовая кислота; 0.0015% индолилуксусной кислоты);

— 0.1%-ный салицилат хитозана 60 кДа, содержащий 25% ионно-связанных фрагментов салициловой кислоты.

Схема полевого опыта включала обработку семян пшеницы Ленинградка 6, к-64900 препаратами перед посевом и четырехкратное опрыскивание вегетирующих растений в фазы кушения, выхода в трубку, колошения и цветения. Норма расхода рабочей жидкости при обработке семян полусухим способом — 1 мл/100 г, при опрыскивании растений — 100 мл/м².

Продуктивность пшеницы характеризовали с помощью определения 18 показателей: длины колоса, числа колосков в колосе, числа зерен в колосе, массы зерен одного колоса, массы 1000 зерен, массы колоса, высоты растения, фазы растения по шкале Эукарпия (Цадокса), числа и длины корней (главный зародышевой корень, зародышевые и coleoptильные корни), количества и длины узловых корней, массы корней, продуктивной и общей кустистости, площади флагового и предфлагового листа пшеницы, массы вегетативной части растений (без корней и колоса). В каждом варианте опыта оценивали 20 растений [18].

Потенциальную урожайность пшеницы Y_p (т/га) рассчитывали по продуктивной кустистости и числу растений, высеянных на 1 м²: $Y_p = 10 \times M_k K_p P_p$, где M_k — масса зерен колоса одного



Рис. 1. Конидии *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. — возбудителя гельминтоспориозной корневой гнили (увеличение 600×).

растения, г; K_n — продуктивная кустистость образца; P_n — плотность посева (количество растений на 1 м²).

Оценку степени поражения растений гельминтоспориозной корневой гнилью *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. (рис. 1), по вариантам опыта проводили в лабораторных условиях в фазы кушения пшеницы и колошения-цветения в соответствии с общепринятой методикой [19].

При оценке интенсивности поражения пшеницы возбудителями болезней анализировали комплекс показателей патогенеза с использованием общепринятых шкал учета и расчетных дополнительных характеристик: мучнистая роса *Blumeria graminis* (DC.) Speer. (степень развития, число и площадь пятен с налетом); бурая ржавчина пшеницы (рис. 2); *Puccinia triticina* Erikss. (степень развития, число пустул, площадь пустулы); желтая ржавчина пшеницы *Puccinia striiformis* West. (степень развития, число и длина полос с пустулами, число пу-

стул в полосе, суммарное число пустул на лист, площадь пустулы); септориозно-пиренофорозная пятнистость *Stagonospora nodorum* (Berk.) Berk., *Septoria tritici* Roberge et Desm., *Pyrenophora tritici repentis* (Died.) Drechsler (степень развития). Оценивали интенсивность поражения флаговых и предфлаговых листьев пшеницы [20].

Размер пустул для видов ржавчины и пятен с налетом для возбудителя мучнистой росы устанавливали с помощью окулярного и объективного микрометров, предполагая их эллиптическую форму, с использованием формулы: $S_n = m \cdot ab$, где a и b — значения полуосей эллипса (в линиях окулярного микрометра), m — масштабный коэффициент микроскопа, S_n — площадь пустулы или пятна с налетом (мм²).

Алгоритм компьютерной обработки данных опыта включал создание первичной электронной базы данных измерений в электронной таблице Microsoft Excel, кодирование показателей измерений и формирование кодировочной таблицы результатов опыта в системе IBM SPSS. Кроме того, для наглядного представления результатов опыта использованы графические возможности пакета Statistica.

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием методов параметрической статистики. Рассчитывали средние значения показателей, стандартную ошибку для средних, 95%-доверительные интервалы. Достоверные различия между средними измерениями показателей в вариантах опыта определяли по критерию Стьюдента, предполагая равенство дисперсий (распределения) сравниваемых групп при $P < 0.05$. Процент изменений в значениях показателей продуктивности в зависимости от применения хитозановых комплексов и 0.1%-ного салицилата хитозана был рассчитан путем сопоставления данных измерений в вариантах опыта с контролем и

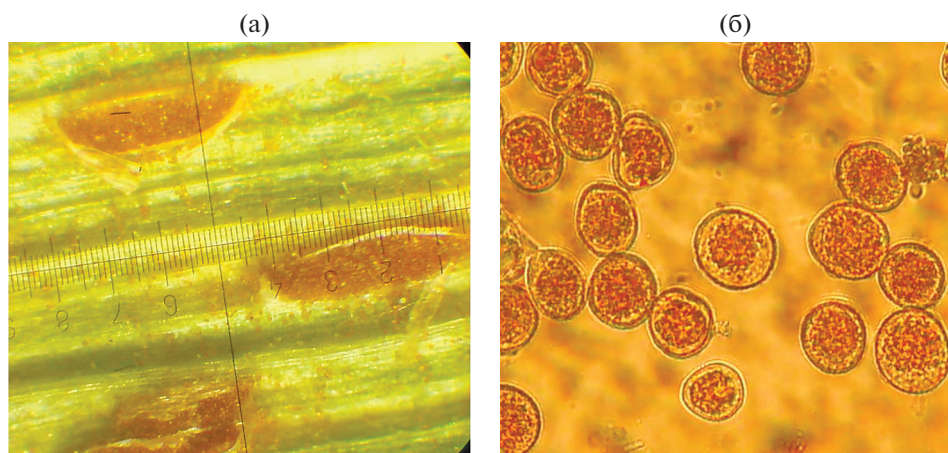


Рис. 2. Уредопустулы бурой ржавчины пшеницы увеличение 56× (а) и 600× (б).

определения положительной и отрицательной относительной тенденции изменений, а также выявления существенности различий по критерию Стьюдента при $P < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольшее снижение интенсивности развития корневой гнили пшеницы — на 79.0%, было зафиксировано в варианте опыта с использованием 0.1% салицилата хитозана (рис. 3). Кроме того, в указанном варианте опыта не отмечено симптомов развития мучнистой росы в период вегетации растений, в то время как в контроле (без обработки) интенсивность поражения пшеницы достигала $52.5 \pm 2.5\%$.

При обработке растений комплексом Хитозан II развитие мучнистой росы достоверно снизилось на 5% ($t = 4.9$). Однако при более точном подсчете на предфлаговом листе пшеницы числа пятен с налетом и определении площади пятен с налетом выявлено снижение значений показателей на 82.5% ($t = 3.9$) и 81.1% ($t = 3.5$) соответственно. Комплекс Хитозан I не оказывал существенного влияния на интенсивность развития мучнистой росы.

После применения полифункционального комплекса Хитозан I отмечали существенное снижение ($P < 0.05$) интенсивности развития бурой ржавчины пшеницы — на 17.4% по сравнению с контролем, а в варианте опыта Хитозан II — на 13.8%. Число пустул возбудителя, рассчитанное на всю площадь листа пшеницы, в указанных вариантах опыта снизилось на 92%, с 156.9 — в контроле до 12.2 шт./лист в опыте и на 65.6%, с 156.9 — в контроле до 54.0 шт./лист. Существенное снижение значений при $P < 0.05$ площади пустулы возбудителя бурой ржавчины — на 56.4% (с 0.097 мм^2 — в контроле до 0.042 мм^2) было выявлено при использовании комплекса Хитозан II. В варианте опыта Хитозан I площадь пустулы снизилась на 32.0%.

Степень поражения пшеницы возбудителем желтой ржавчины снизилась существенно — на 29.1% ($t = 3.1$), при применении 0.1% салицилата хитозана. В указанном варианте опыта число пустул в полосе уменьшилось на 47.1% (с 179.5 до 94.9 шт.), а число и длина полос с пустулами микромицета на флаговых листьях снизились на 40.8% (с 12.5 до 7.4 шт.) и 29.8% (с 74.7 до 52.4 мм) соответственно. На значения площади пустулы микромицета 0.1%-ный салицилат хитозана не оказывал существенного влияния. Однако при обработке растений комплексом Хитозан II выявлено снижение показателя на 35.8% (с 0.04676 мм^2 — в контроле до 0.03000 мм^2).

В варианте опыта с использованием 0.1%-ного салицилата хитозана не было выявлено развитие септориозно-пиренофорозной пятнистости

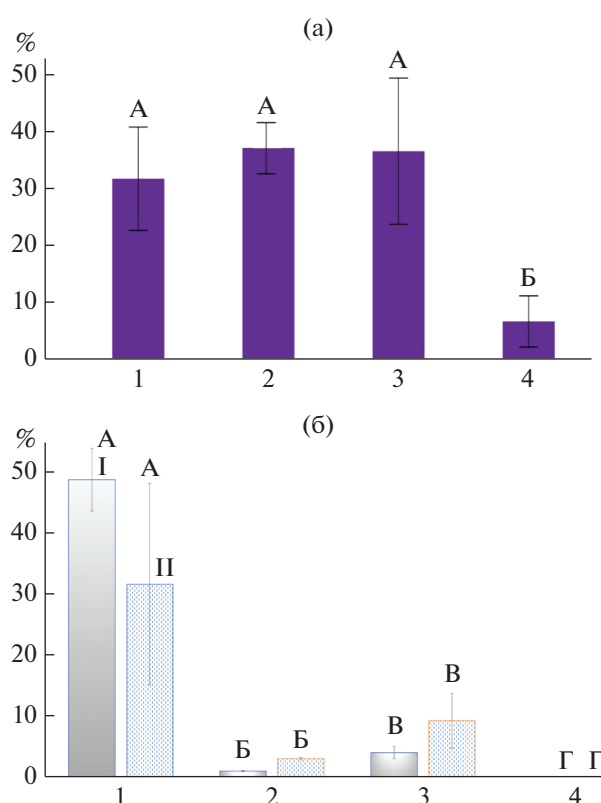


Рис. 3. Развитие корневой гнили (%) мягкой пшеницы (а) и септориозно-пиренофорозной пятнистости (б, %) при использовании комплексов Хитозан I (2), Хитозан II (3) и 0.1%-ного салицилата хитозана (4) по сравнению с контролем (1): I — флаговый лист; II — предфлаговый. Одинаковыми буквами обозначены варианты опыта без достоверных различий согласно 95%-ному доверительному интервалу для средних измерений показателя.

(рис. 3). Обработка растений комплексом Хитозан I приводила к сильному снижению развития болезни на флаговых (предфлаговых) листьях с 48.6% в контроле до 1% (с 31.5% в контроле до 3% в опыте). При применении комплекса Хитозан II зарегистрировано снижение септориозно-пиренофорозной пятнистости на флаговых и предфлаговых листьях до 4 и 9% соответственно.

Максимальное изменение потенциальной урожайности пшеницы на 32.8% по сравнению с контролем (с 2.4 до 3.2 т/га) было отмечено в варианте опыта с использованием 0.1% салицилата хитозана (рис. 4).

Возможно, это было обусловлено увеличением важнейших элементов структуры урожайности пшеницы: числа зерен в колосе — на 73.1% (рис. 5а), массы 1000 зерен — на 70.1% (рис. 5б), продуктивной кустистости растений — на 134.7% (рис. 6), длины колоса — на 6.1%, числа колосков в колосе — на 8.2% (табл. 1).

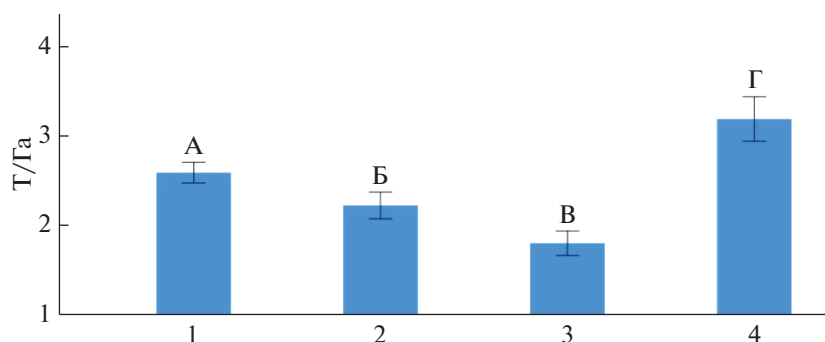


Рис. 4. Изменение урожайности мягкой пшеницы при использовании комплексов на основе хитозана Хитозан I (2), Хитозан II (3) и 0.1% салицилата хитозана (4) по сравнению с контролем (1). Одинаковыми буквами обозначены варианты опыта без достоверных различий согласно 95%-ному доверительному интервалу для средних измерений показателя.

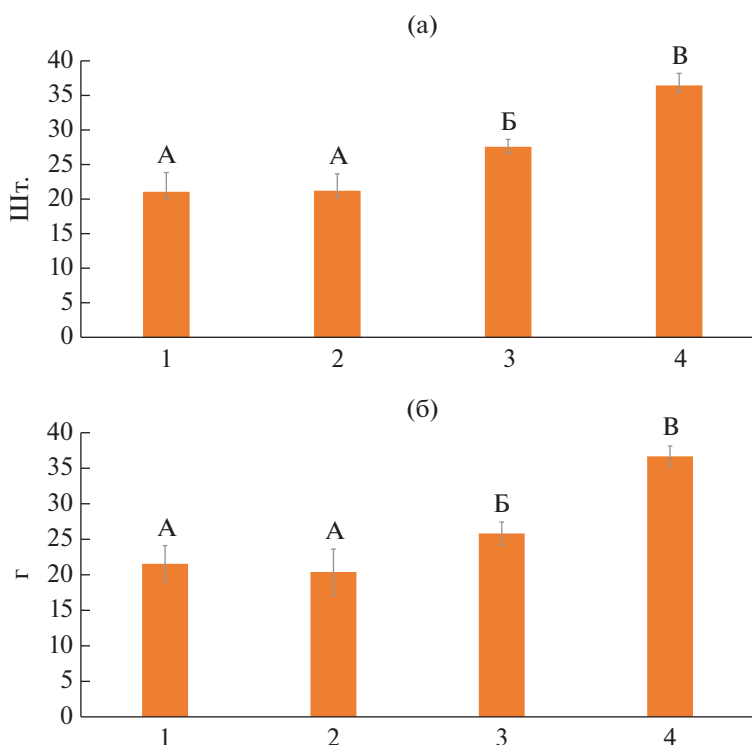


Рис. 5. Число зерен в колосе мягкой пшеницы (а) и масса 1000 зерен (б) при использовании комплексов на основе хитозана Хитозан I (2), Хитозан II (3) и 0.1% салицилата хитозана (4) по сравнению с контролем (1). Описание буквенных обозначений как на рис. 4.

Кроме того, зарегистрировано существенное увеличение общей кустистости растений — на 91.0% (рис. 7), площади предфлагового листа — на 9.7%, высоты растений — на 17.7%, массы вегетативной части — на 16.7% (табл. 1).

При использовании 0.1%-ного салицилата хитозана выявлено существенное увеличение массы корней — на 27.3% (с 1.1 до 1.4 г), числа корней — на 28.6% (с 6.3 в контроле до 8.1 шт.), но сниже-

ние их длины на 26.6% (с 61.6 мм в контроле до 45.2 мм, табл. 1).

В варианте опыта Хитозан I, по сравнению с контролем, выявлено сокращение периода созревания пшеницы (по фазе онтогенеза) на 21.3% и увеличение высоты растений на 25.5%, но масса корней растений снизилась на 81.8%.

По сравнению с другими вариантами опыта наибольшее влияние на рост вегетативной массы

Таблица 1. Морфометрические показатели продуктивности мягкой пшеницы при применении хитозановых комплексов и 0.1% салицилата хитозана

Варианты опыта	Фаза растения, балл (изменения. к контролю, %)	Число корней, шт. (изменения. к контролю, %)	Длина корней, мм (изменения. к контролю, %)	Число узловых корней, шт. (изменения. к контролю, %)	Длина узловых корней, мм (изменения. к контролю, %)	Масса корней, г (изменения. к контролю, %)	Высота растения, см (изменения. к контролю, %)
Контроль (вода)	55.0 ± 2.3 (–)	6.3 ± 0.5 (–)	61.6 ± 3.4 (–)	8.9 ± 0.7 (–)	61.1 ± 4.3 (–)	1.1 ± 0.1 (–)	68.5 ± 4.1 (–)
Хитозан I	66.7 ± 1.5 (21.3)*	5.6 ± 0.6 (–11.1)	61.6 ± 4.8 (0.0)	7.2 ± 0.6 (–19.1)	52.3 ± 4.2 (–14.4)	0.2 ± 0.0 (–81.8)*	86.0 ± 4.3 (25.5)*
Хитозан II	60.8 ± 1.6 (10.5)*	5.5 ± 0.5 (–12.7)	68.9 ± 3.2 (11.9)	8.1 ± 0.6 (–9.0)	63.4 ± 2.7 (3.8)	0.4 ± 0.1 (–63.6)*	81.0 ± 2.3 (18.2)*
0,1% салицилат хитозана	57.4 ± 0.4 (4.4)	8.1 ± 0.5 (28.6)*	45.2 ± 3.0 (–26.6)*	9.7 ± 1.4 (9.0)	60.5 ± 2.5 (–1.0)	1.4 ± 0.1 (27.3)*	80.6 ± 1.8 (17.7)*
Варианты опыта	Площадь флагового листа, см ² (изменения. к контролю, %)	Площадь предфлагового листа, см ² (изменения. к контролю, %)	Масса вегетативной части, г (изменения. к контролю, %)	Длина колоса, мм (изменения. к контролю, %)	Число колосков в колосе, шт. (изменения. к контролю, %)	Масса колоса, г (изменения. к контролю, %)	Масса зерен одного колоса, г (изменения. к контролю, %)
Контроль (вода)	5.7 ± 0.2 (–)	6.2 ± 0.3 (–)	1.8 ± 0.1 (–)	67.3 ± 1.6 (–)	13.4 ± 0.6 (–)	0.6 ± 0.1 (–)	0.7 ± 0.0 (–)
Хитозан I	5.3 ± 0.6 (–7.0)	5.3 ± 0.4 (–14.5)	1.8 ± 0.2 (0.0)	68.1 ± 3.4 (1.2)	14.1 ± 0.7 (5.2)	0.4 ± 0.1 (–33.3)	0.6 ± 0.0 (–14.3)
Хитозан II	5.9 ± 0.4 (3.5)	5.9 ± 0.3 (–4.8)	2.7 ± 0.2 (50.0)*	66.5 ± 2.1 (–1.2)	13.0 ± 0.5 (–3.0)	0.7 ± 0.0 (16.7)	0.8 ± 0.0 (14.3)
0,1% салицилат хитозана	6.0 ± 0.1 (5.3)	6.8 ± 0.2 (9.7)*	2.1 ± 0.1 (16.7)*	71.4 ± 1.8 (6.1)*	14.5 ± 0.4 (8.2)*	0.7 ± 0.0 (16.7)	0.8 ± 0.0 (14.3)

 * Различия достоверны при уровне значимости $P < 0.05$.

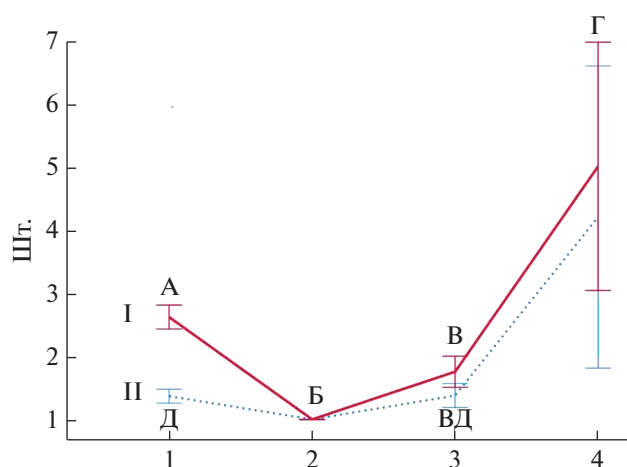


Рис. 6. Продуктивная (II) и общая кустистость (I) мягкой пшеницы при использовании комплексов на основе хитозана Хитозан I (2), Хитозан II (3) и 0.1% салицилата хитозана (4) по сравнению с контролем (1).

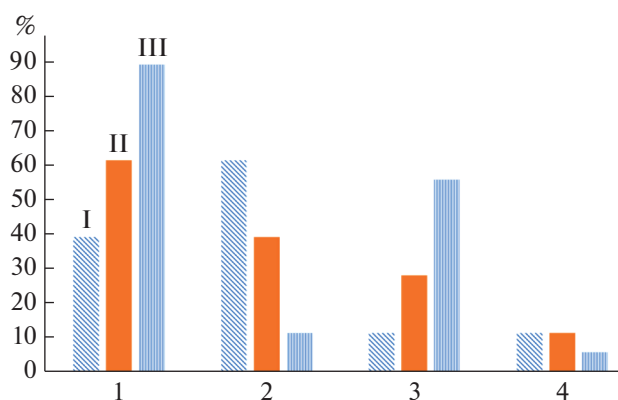


Рис. 7. Особенности влияния комплексов Хитозан I (I), Хитозан II (II) и 0.1% салицилата хитозана (III) на изменение величины показателей продуктивности пшеницы по сравнению с контролем. 1 — доля положительных изменений показателей; 2 — доля отрицательных изменений показателей; 3 — доля статистически достоверных положительных изменений показателей ($P < 0.05$); 4 — доля статистически достоверных отрицательных изменений показателей ($P < 0.05$).

растений (на 50.0%) отмечено при применении комплекса Хитозан II. Кроме того, в указанном варианте опыта выявлено сокращение периода созревания пшеницы (по фазе онтогенеза) — на 10.5%, существенный рост высоты растений — на 18.2%. Однако масса корней была меньше относительно контроля — на 63.6%.

Сравнительная эффективность хитозановых комплексов и 0.1%-ного салицилата хитозана в отношении 18 показателей продуктивности пшеницы приведена на рис. 7.

Максимальное относительное число положительных изменений показателей и статистически достоверное число положительных изменений показателей продуктивности, по сравнению с контролем, выявлено при использовании 0.1%-ного салицилата хитозана 88.9 и 55.6% соответственно. В варианте опыта Хитозан I — 38.9 и 11.1%, а в варианте Хитозан II — 61.1 и 27.8%, соответственно.

Таким образом, наилучшие результаты были получены при использовании 0.1%-ного салицилата хитозана как в отношении снижения развития корневой гнили, мучнистой росы, желтой ржавчины, септориозно-пиренофорозной пятнистости, так и продуктивности пшеницы. При использовании 0.1%-ного салицилата хитозана отмечено увеличение урожайности пшеницы на 32.8% по сравнению с контролем, а также статистически достоверный рост значений 55.6% показателей, характеризующих рост и развитие пшеницы, продуктивность и урожайность: длины колоса, числа колосков в колосе, числа зерен в колосе, высоты растений, массы корней, числа корней, продуктивной и общей кустистости, площади предфлагового листа, массы вегетативной части. Комплексы Хитозан I и Хитозан II способствовали существенному снижению поражения пшеницы возбудителями бурой ржавчины и септориозно-пиренофорозной пятнистости, а в варианте Хитозан I отмечено уменьшение развития мучнистой росы. Комплекс Хитозан I оказал положительное влияние только на 11.1% показателей продуктивности: фаза развития и высота растений, а комплекс Хитозан II — на 27.8% показателей, характеризующих фазу онтогенеза, высоту растений, массу вегетативной части растений.

Таким образом, результаты работы могут найти практическое применение при разработке экологически оптимальных технологий возделывания пшеницы и улучшении фитосанитарного состояния посевов.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 “Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dwivany F., Meitha K., Kuswati, Esyanti R., Nugrahap-
raja H. // Res. J. Biotechnol. 2021. V. 16. № 2. P. 87–92.
2. Kim S. In Book: Chitin, Chitosan, Oligosaccharides
and Their Derivatives. Biological Activities and Applica-
tions. /Ed. Se-Kwon Kim. CRC Press, 2010. P. 605–617.
3. El Hadrami A., Adam L.R., El Hadrami I., Daayf F. // Mar. Drugs. 2010. V. 8. P. 968–987.
<https://doi.org/10.3390/md8040968>

4. Kulikov S.N., Chirkov S.N., Il'ina A.V., Lopatin S.A., Varlamov V.P. // Appl. Biochem. Microbiol. 2006. V. 42. № 2. P. 200–203.
<https://doi.org/10.1134/s0003683806020165>
5. Muzzarelli R., Tarsi R., Filippini O., Giovanetti E., Biagini G., Varaldo P.E. // Antimicrob. Agents Chemother. 1990. V. 34. № 10. P. 2019–2023.
6. Olanipekun E., Ayodele O., Olatunde O., Olusegun S.J. // Int. J. Biol. Macromol. 2021. V. 183.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.162>
7. Allan C.R., Hadwiger L.A. // Exp. Mycol. 1979. № 3. P. 285–287.
8. Rabea E.I., El Badawy M., Rogge T.M., Stevens C.V., Hofte M., Steurbaut W., Smagghe G. // Pest Manag. Sci. 2005. V. 61. P. 951–960.
<https://doi.org/10.1002/ps.1085>
9. Mesas F., Terrile M., Silveyra M., Zúñiga A., Rodríguez M.S., Casalengué C., Mendieta J. // Plant Pathol. J. 2021. V. 37. № 6. P. 533–542.
<https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.06.2021.0090>
10. Pospieszny H., Chirkov S., Atabekov J. // Plant Science. 1991. V. 79. P. 63–68.
11. Faoro F., Sant S., Iriti M., Maffi D., Appiano A. In: “Chitin Enzymology” / Ed. R.A.A. Muzzarelli. Italy: Atec, 2001. P. 57–62.
12. Kadam P.M., Prajapati D., Kumaraswamy R.V., Kumari S., Khaidem A., Pal A., Harish, Sharma S.K., Saharan V. // Plant Physiol. Biochem. 2021. V. 162. P. 699–705.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.021>
13. Seraj, R.G.M., Behnamian, M., Ahmadikhah, A. Shariati V., Dezhsetan S. // Acta Physiologiae Plantarum. 2021. V. 43. № 7. P. 101.
<https://doi.org/10.1007/s11738-021-03264-8>
14. Morovvat S., Sadrabadi R., Nofereest K., Darban A., Salati M. // Agrivita J. Agric. Sci. 2021. V. 43.
<https://doi.org/10.17503/agrivita.v43i1.2796>
15. Pongprayoon W., Siringam T., Panya A., Roytrakul S. // Applied Science and Engineering Progress. 2020. V. 15. № 1.
<https://doi.org/10.14416/j.asep.2020.12.007>
16. Тютеев С.Л. Природные и синтетические индукторы устойчивости растений к болезням. Санкт-Петербург: ВИЗР, 2014. 212 с.
17. Васюкова Н.И., Озерцовская О.Л. // Прикл. биохимия и микробиология. 2007. Т. 43. № 4. С. 405–411.
18. Колесников Л.Е., Попова Э.В., Новикова И.И., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Колесникова Ю.Р. и др. // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 5. С. 1024–1040.
19. Попов Ю.В. // Plant Protection and Quarantine. 2011. № 8. С. 45–47.
20. Колесников Л.Е., Новикова И.И., Сурин В.Г., Попова Э.В., Прияткин Н.С., Колесникова Ю.Р. // Прикл. биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 5. С. 1–8.

The Chitosan Application in Wheat Protection from Diseases and Yield Increasing

L. E. Kolesnikov^{a,*}, E. V. Popova^b, I. I. Novikova^b, Yu. R. Kolesnikova^c, and E. D. Balagurova^a

^a Saint-Petersburg State Agrarian University, Faculty of Agrotechnologies, Soil science and Ecology, Department of Plant Protection and Quarantine, St-Petersburg – Pushkin, 196601 Russia

^b All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), Laboratory of microbiological plant protection, Saint Petersburg-Pushkin, 196608 Russia

^c Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Genetic Resource of Wheat Department, Plant Introduction Department, St-Petersburg, 190000 Russia

*e-mail: kleon9@yandex.ru

The protective effect of two chitosan complexes with biologically active substances: Chitosan I – 0.1% chitosan solution: Chitosan mM 100 kDa, Chitosan mM 50kDa (1 : 1), succinic acid, glutamic acid; 0.025% salicylic acid; Chitosan II – 0.1% chitosan solution: Chitosan mM 50kDa; succinic acid, glutamic acid; 0.0015% indolylacetic acid and 0.1% chitosan salicylate mM 60 kDa, containing 25% ion-bound fragments of salicylic acid was studied on wheat by the period 2016–2020. The complexes Chitosan I and Chitosan II significantly reduced the wheat affection by brown rust and septoria-pyrenophorous spotting, and in the Chitosan I variant, decrease in the powdery mildew development was noted. Chitosan salicylate (0.1%) reduced the degree of root rot damage to wheat by 79%, yellow rust by 29.1%, suppressed the powdery mildew development; increased yield by 32.8% and caused the growth of 55.6% indicators of wheat growth, development, productivity and yield. The complexes Chitosan I and Chitosan II had a positive impact on 11.1% and 27.8% of wheat productivity indicators.

Keywords: soft wheat, chitosan compositions, 0.1% chitosan salicylate, productivity, yield structure, root rot, wheat leaf diseases