

Защита растений

УДК 631.87:632.93

DOI:10.31857/S2500262720030060

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЛКОВОГО СТИМУЛЯТОРА РОСТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ПШЕНИЦЫ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗЕРНА МЕТОДАМИ МИКРОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ И ОПТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Л.Е. Колесников¹, кандидат биологических наук,
И.И. Кременевская², Н.С. Прияткин³, кандидаты технических наук,
М.В. Архипов^{3,4}, доктор биологических наук,
М.В. Киселёв¹, Ю.Р. Колесникова⁵, кандидаты сельскохозяйственных наук,
И.Е. Разумова¹, аспирант

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2
E-mail: kleon9@yandex.ru

²Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49
E-mail: matateka@mail.ru

³Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14
E-mail: prini@mail.ru

⁴Северо-Западный центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения,
196608, Санкт-Петербург–Пушкин, шоссе Подбельского, 7
E-mail: szcentr@bk.ru

⁵Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова,
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42–44
E-mail: jusab@yandex.ru

По технологии, разработанной сотрудниками университетов ИТМО и СПбГАУ создан новый препарат – стимулятор роста и развития растений. Биологическую эффективность препарата определяли по данным измерений 20 показателей продуктивности пшеницы и 16 показателям различных типов патогенеза, формируемого при развитии гельминтоспориозной корневой гнили, видов ржавчины, мучнистой росы и септориоза. Показано, что применение препарата способствует повышению потенциальной урожайности у 64% образцов (статистически достоверно при $P < 0,05$ у 28% образцов). Препарат оказывал наиболее выраженное действие на важнейшие показатели структуры урожайности: длину колоса, число колосков в колосе, число зерен в колосе, массу зерен одного колоса. Внекорневое опрыскивание растений белковым стимулятором роста обуславливало увеличение общего азота в листьях пшеницы у 92% образцов в среднем на 84,6%. По результатам микрофокусной рентгенографии и оптического анализа, в варианте опыта с применением белкового стимулятора роста зерна пшеницы имели лучшие характеристики по сравнению с контролем. Интенсивность развития гельминтоспориозной корневой гнили снижалась в среднем на 60%, мучнистой росы – на 5% (по числу и площади пятен с налетом – на 36 и 52% соответственно), бурой ржавчины – на 2,9% (по числу пустел на лист и площади пустелы – на 76,8 и 79,7%), септориоза – на 15,9%. Установлено, что эффективность препарата в основном зависит от сорта пшеницы. Экспериментально показана перспективность использования нового эффективного стимулятора роста и развития растений для повышения продуктивности и защиты пшеницы от болезней. Вследствие неоднородности результатов различных вариантов эксперимента целесообразны дальнейшие исследования.

THE BIOLOGICAL BASIS FOR THE PROTEIN GROWTH STIMULANT APPLICATION FOR INCREASING THE WHEAT YIELD AND THE ASSESSMENT OF GRAIN QUALITY BY THE MICROFOCUS X-RAY AND OPTICAL IMAGING TECHNIQUES

Kolesnikov L.E.¹, Kremenevskaya I.I.², Priyatkin N.S.³, Arkhipov M.V.^{3,4},
Kiselev M.V.¹, Kolesnikova Yu.R.⁴, Razumova I.E.¹

¹Sankt-Petersburg State Agrarian University, 196601, Sankt-Peterburg – Pushkin. Peterburgskoye shosse, 2
E-mail: kleon9@yandex.ru

²ITMO University, 197101, Sankt-Peterburg, Kronverksiy pr., 49
E-mail: matateka@mail.ru

³Agrophysical Research Institute, 195220, Sankt-Peterburg, Grazhdanskiy prosp., 14
E-mail: prini@mail.ru

⁴North-Western Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance,
196608, Sankt-Peterburg–Pushkin, shosse Podbelskogo, 7
E-mail: szcentr@bk.ru

⁵Federal Research Center The N.I. Vavilov All-russian Institute of Plant Gene Resources,
190000, Sankt-Peterburg, ul. Bolshaya Morskaya. 42–44
E-mail: jusab@yandex.ru

According to the technology engineered by the scientists of ITMO and SPBGU Universities, the new plant growth stimulator was developed. The biological effectiveness of the preparation was estimated by the measuring of 20 wheat productivity indicators and 16 indicators of various pathogenesis types formed during the development of helminthosporous root rot, rust species, powdery mildew and wheat leaf blotch. The potential yield increase in 64% of samples (statistically significant at $P < 0.05$ in 28% of samples) was caused by the stimulant treatment. The most expressed preparation effect the essential indicators of yield structure: the spike

length, the spikelets number per spike, the grains number per spike, the grains weight in one spike was revealed. Plants foliar spraying with a protein growth stimulant caused an increase in total nitrogen in wheat leaves in 92% of samples by an average of 84.6%. According to the results of microfocuss radiography and optical analysis, wheat grains had the best characteristics (compared to the control) when the protein stimulator was applied. When the protein growth stimulant using, the helminthosporous root rot development intensity decreased by an average of 60%, powdery mildew – by 5% (by the spots number and area – by 36% and 52%, respectively), brown rust – by 2.9% (by the pustules number per leaf (by 76.8%) and the pustule area (by 79.7%)), wheat leaf blotch – by 15.9% compared to the control. It was revealed, the stimulant effectiveness strongly depended on the wheat variety. Thus, the new effective plant growth stimulator using prospects to increase wheat productivity and protect against diseases have been shown experimentally. Due to the heterogeneity of different experiment versions results it is advisable to continue the research.

Ключевые слова: белковый стимулятор роста, мягкая пшеница, элементы продуктивности, болезни пшеницы, качество зерна, микрофокусная рентгенография, оптический анализ семян

Key words: protein growth stimulant, soft wheat, the productivity elements, wheat diseases, grain quality, microfocuss X-ray, optical analysis of seeds

Повышение урожая и улучшение качества зерна пшеницы – важнейшая задача сельскохозяйственного производства. При этом необходимо совершенствовать технологии возделывания культуры, а, следовательно, изыскивать инновационные экологически обоснованные способы [1-5]. Увеличить продуктивность пшеницы и ее сопротивляемость к неблагоприятным условиям окружающей среды возможно за счет повышения адаптивного потенциала растений [6], в частности, при использовании специальных препаратов – стимуляторов роста и индукторов устойчивости растений к болезням [7-12].

Сейчас особый интерес уделяется изучению стимуляторов роста растений на основе аминокислот-содержащих комплексов [13-15]. Аминокислоты необходимы для протекания большинства биологических процессов в растениях, могут влиять на их адаптивный потенциал [15], например, на устойчивость к вредным организмам [16]. При применении белковых стимуляторов роста растение не затрачивает энергию на синтез аминокислот, получая их уже в готовом, легкоусвояемом виде. В последнее время в качестве стимуляторов роста и развития растений предложено применять белковые гидролизаты, получаемые из побочных продуктов переработки скота, в том числе из спилка говяжьего [17-20].

В процессе возделывания пшеница может подвергаться воздействию различных факторов. В результате зерно имеет определенные дефекты, определить которые возможно современными неразрушающими инструментальными физическими методами [21].

Цель настоящего исследования – обоснование перспективности использования белкового стимулятора роста из побочного продукта переработки крупного рогатого скота для повышения урожайности и качества зерна, снижения вредоносности возбудителей болезней пшеницы.

Методика. Место проведения работы – мегафакультет биотехнологий и низкотемпературных систем университета ИТМО, кафедра защиты и карантина растений, а также испытательная лаборатория экологического контроля объектов окружающей среды Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, сектор биофизики растений Агрофизического научно-исследовательского института. В экспериментах применяли белковый стимулятор роста [22], сырьем для производства которого служил спил гольевой говяжий. Основное действующее вещество в препарате, оказывающее стимулирующее действие, – аминокислота глицин (1,20 микромоль/мг) в составе других аминокислот. Исследования выполнены в условиях опытного поля Пушкинских лабораторий федерального исследовательского центра Всероссийского

института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Полевой опыт по определению влияния белкового стимулятора роста на продуктивность и интенсивность развития болезней пшеницы осуществлен на 25 образцах мягкой пшеницы ярового типа развития в 2017–2018 гг. Образцы предоставлены отделом генетических ресурсов пшеницы ВИР. Профилактическое опрыскивание пшеницы стимулятором роста проводили в 3-кратной повторности в фазы кущения, выхода в трубку, начала колошения. Концентрация водного раствора стимулятора составляла 195 мг/л.

Продуктивность пшеницы изучали в фазы колошения – цветения и созревания по 20 показателям, характеризующих морфологические признаки растений и структуру урожая [12]. Потенциальную (биологическую) урожайность единичного растения пшеницы рассчитывали в соответствии с данными о продуктивной кустистости и массе зерен колоса одного растения (г/растение). Поражение пшеницы болезнями характеризовали 16 показателями различных типов патогенеза, формируемых при развитии корневой гнили, бурой и желтой ржавчины, мучнистой росы и септориоза [11]. Использовали общепринятые визуальные шкалы учета развития болезней и дополнительно – комплекс фитопатологических показателей – число и площадь пятен с налетом (мучнистая роса); число пустул на лист, площадь пустулы (бурая ржавчина); число пустул (суммарное на лист), число полос с пустулами, длину полос с пустулами, площадь пустулы и их число в полосе (желтая ржавчина). В частности, число пустул видов ржавчины определяли методом их подсчета на листьях пшеницы с использованием микроскопа МБС-10. Размер пятен с налетом (мучнистая роса) и пустул (бурая ржавчина, желтая ржавчина), формируемых при патогенезе на листьях пшеницы, определяли на основании предположения об их эллиптической форме с помощью окулярного и объективного микрометров. Использование комплекса показателей патогенеза позволило расширить спектр методов статистического анализа данных, применимых к исследованию, и повысить точность опыта при определении биологической эффективности белкового стимулятора роста.

Для рентгенографического анализа зерна использовали передвижную рентгенодиагностическую установку ПРДУ-02 (фирма «Элте-Мед», Санкт-Петербург) и программное обеспечение для анализа изображений «Аргус-ВЮ» (фирма «АргусСофт», Санкт-Петербург). Методика получения и анализа цифровых рентгеновских изображений семян описана ранее [23]. Оптический анализ поверхности зерен выполняли с использованием серийного планшетного сканера EPSON Perfection V200 Photo (Япония/Китай) и программного обеспечения для анализа изображений «Аргус-ВЮ».

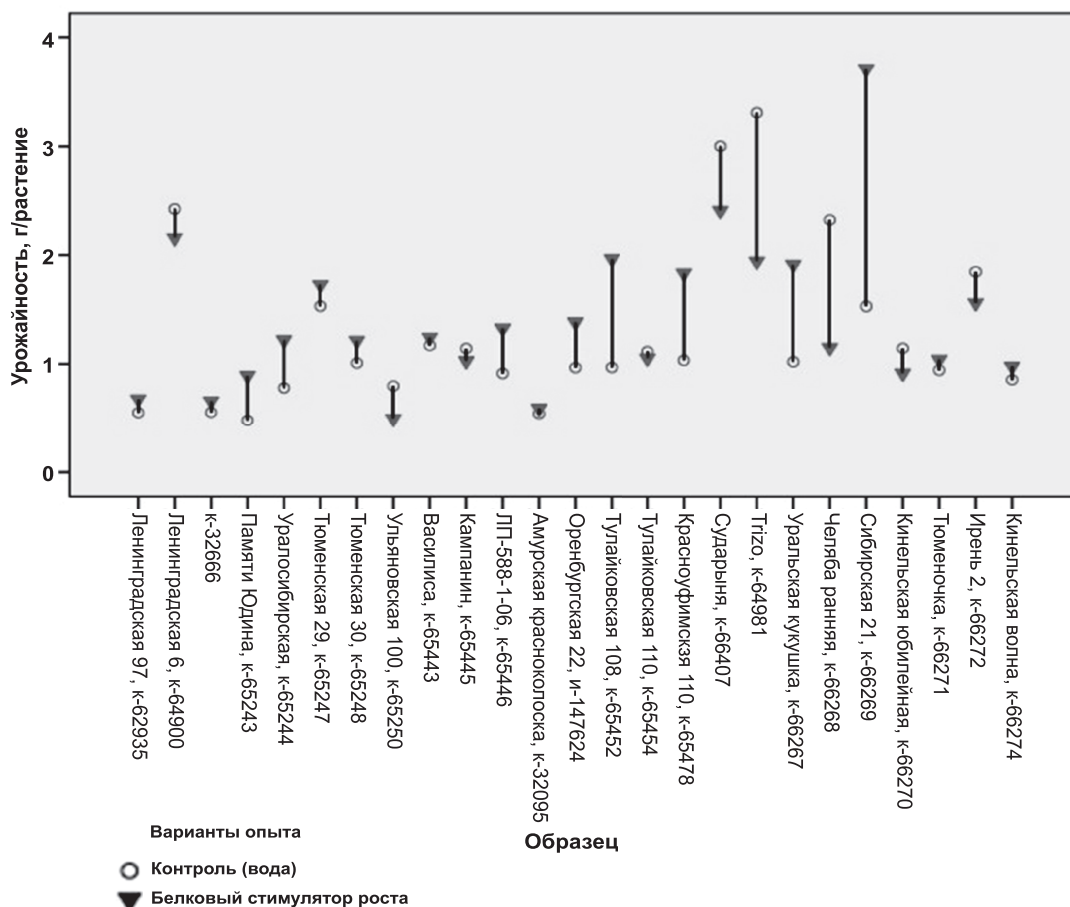


Рис. 1. Изменение потенциальной урожайности мягкой пшеницы при применении белкового стимулятора роста, 2016–2018 гг.

Методика получения и анализа цифровых сканированных изображений семян описана ранее [24].

Содержание во флаговых листьях мягкой пшеницы общего азота определяли в фазе начала цветения фотоэлектронметрическим методом (ГОСТ 10846–91). Статистический анализ результатов проведен в программах SPSS 21.0, Statistica 6.0, Excel 2016. При расчетах применяли методы параметрической статистики (на основе средних M и их стандартных ошибок $\pm SEM$, 95% доверительных интервалов и t -критерия Стьюдента).

Результаты и обсуждение. На первом этапе исследования провели сравнение показателей продуктивности пшеницы в вариантах при обработке белковым стимулятором роста и без обработки (контрольная группа). Согласно данным рис. 1, применение стимулятора роста повысило потенциальную урожайность у 64% образцов пшеницы (статистически достоверно, по критерию Стьюдента при $P < 0,05$ у 28% образцов). В большей степени по сравнению с контрольными препарат влиял на биологическую урожайность 7 опытных сортов пшеницы: Уральская кукушка, к-66267 (на 87,9%, $t=2,6$); Сибирская 21, к-66269 (на 143,1%, $t=4,5$); Памяти Юдина, к-65243 (на 86,8%, $t=2,8$); Уралосибирская, к-65244 (на 56,4%, $t=3,1$); Оренбургская 22, к-147624 (на 43,2%, $t=2,0$); Тулайковская 108, к-65452 (на 103,0%, $t=3,1$); Краснофимская 110, к-65478 (на 77,9%, $t=2,9$), где t – критерий Стьюдента.

В варианте с использованием стимулятора роста увеличились основные показатели продуктивности

пшеницы: продуктивная кустистость – на 25,6% у 40% образцов (статистически достоверно у 8% образцов); общая кустистость – на 70,0% (у 52% образцов, статистически достоверно у 32%); длина колоса – на 14,7% (у 64% образцов, статистически достоверно у 40%); число колосков в колосе – на 12,8% (у 72% образцов, статистически достоверно у 36%); масса 1000 зерен – на 9,6% (у 76% образцов, статистически достоверно у 28%); масса колоса – на 262% (у 64% образцов, статистически достоверно у 8%); число зерен в колосе – на 27,1% (у 68% образцов, статистически достоверно у 40%); масса зерен одного колоса – на 29,0% (у 80% образцов, статистически достоверно у 44%).

Применение препарата ускорило развитие растений по фазам онтогенеза на 7,9% у 56% образцов (статистически достоверно у 4% образцов); увеличило высоту растений на 13,7% у 76% образцов; площадь флагового листа – на 17,4% у 60% образцов; площадь предфлагового листа – на 20,8% (у 32% образцов, статистически достоверно у 4%); число корней – на 21,5% (у 72% образцов, статистически достоверно у 16%); длину корней – на 0,53% у 52% образцов; число узловых корней – на 29,1% (у 60% образцов, статистически достоверно у 20%); длину узловых корней – на 18,0% у 68% образцов; массу корней – на 46,9% (у 64% образцов, статистически достоверно у 12%); вегетативную массу – на 1,0% (у 92% образцов, статистически достоверно у 8%).

На рис. 2 приведены данные по изменению содер-

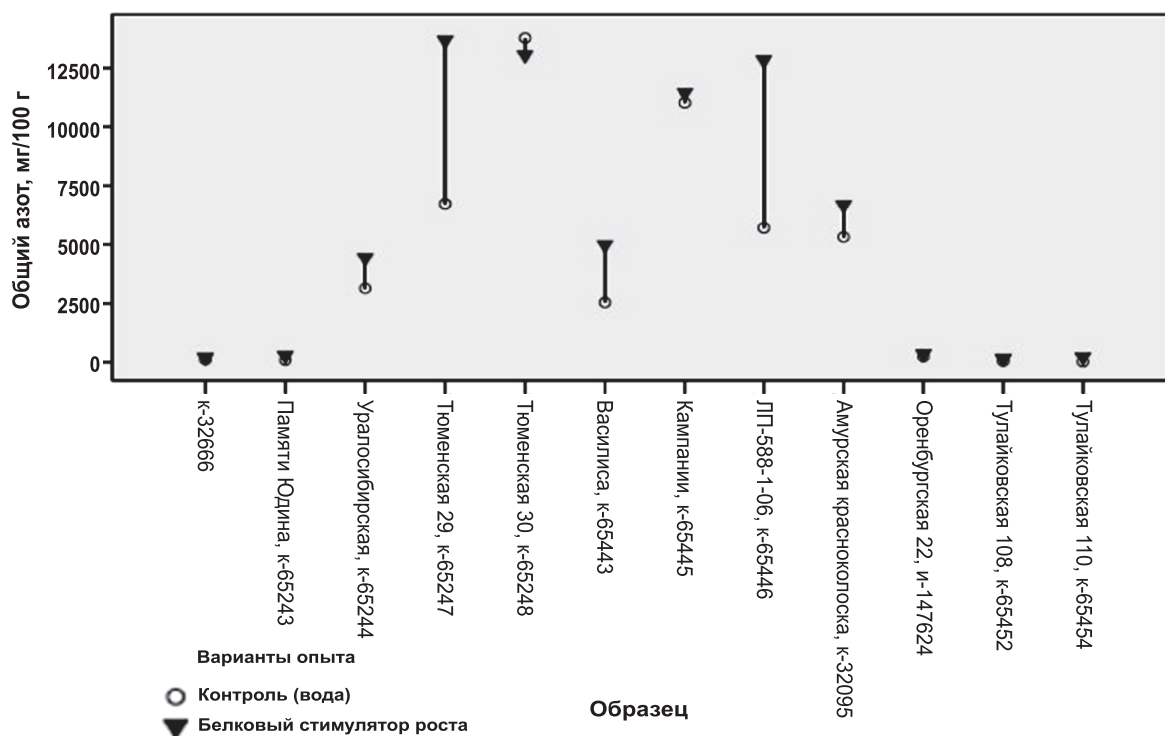


Рис. 2. Изменение содержания общего азота во флаговых листьях в фазе начала цветения пшеницы при применении белкового стимулятора роста, 2018 г.

жания общего азота во флаговых листьях 12 сортов пшеницы в фазе начала цветения при применении белкового стимулятора роста по сравнению с контролем. Следует отметить, что содержание общего азота во флаговых листьях пшеницы в период цветения существенно влияет на урожай этой культуры [25]. В ряде опытов прослеживалась тесная положительная связь между белковистостью зерна и содержанием азота во флаговых листьях, особенно при определении азота в фазы цветения – начала формирования зерна. Выявлена тесная отрицательная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев пшеницы и концентрацией глиадинов и глютеинов, а также тесная положительная корреляция между концентрацией аминокислот в соке листьев и содержанием в зерне водорастворимых белков, глобулинов, нежстрагируемых белков, а также активностью кислых и щелочных протеаз [26]. Внекорневое опрыскивание растений белковым стимулятором роста обусловило увеличение общего азота в листьях пшеницы у 92% образцов в среднем на 84,6%.

Методом микрофокусной (мягколучевой) рентгенографии определено влияние белкового стимулятора на оптические характеристики зерен, характеризующие их структуру и форму по сравнению с контрольной группой.

Метод не разрушает структуру семени, что позволяет рассматривать детали его внутреннего устройства и дефекты: аномалии развития, механические повреждения, поврежденность насекомыми и грибами. Характерно, что за счет низких показателей напряжения на рентгеновской трубке, применяемого при съемках, исключается вредное воздействие рентгеновского излучения на семена.

По результатам микрофокусной рентгенографии, в варианте с белковым стимулятором роста зерна пше-

ницы имели лучшие оптические характеристики по сравнению с контролем: существенно большую площадь проекции рентгенограмм (мм²) – на 5,1% (у 80% образцов, статистически достоверно у 30%), длину (мм) – на 3,5% (у 50% образцов, статистически достоверно у 10%) и ширину (мм) – на 2,8% (у 80% образцов, статистически достоверно у 10%), увеличенный периметр (мм) – на 3,5% (у 70% образцов, статистически достоверно у 16%) и средний размер (мм) – на 2,5% (у 70% образцов, статистически достоверно у 10%). Они характеризовались большей округлостью (фактор круга, отн. ед.) – на 3,0% (80% образцов, статистически достоверно у 20%), большим отклонением яркости (ед. яркости) – на 4,8% (у 80% образцов, статистически достоверно у 30%), а также меньшими значениями: фактора эллипса (отн. ед.) – на 0,2% (у 80% образцов, статистически достоверно у 20% образцов); удлиненности (отн. ед.) – на 2,5% (70% образцов, статистически достоверно у 20% образцов), изрезанности контура изображения (отн. ед.) – на 69,3% (у 70% образцов, статистически достоверно у 30% образцов). Методом оптического анализа отмечен рост значений периметра зерен (мм) – на 1,9% (у 70% образцов), тона (отн. ед.) – на 1,9% (у 60% образцов, статистически достоверно у 10%), насыщенности (отн. ед.) – на 2,5% (у 70% образцов, статистически достоверно у 20%).

Таким образом, обработка растений пшеницы белковым стимулятором роста привела к выраженному увеличению размера зерен, их округлости и полноценности по сравнению с контрольной группой, определяемой этими показателями, в том числе большей площади, наличию неровномерных теней (отклонение яркости) на проекции рентгенограммы. Цифровые сканированные изображения зерен пшеницы, обработанных белковым стимулятором, выделялись большим

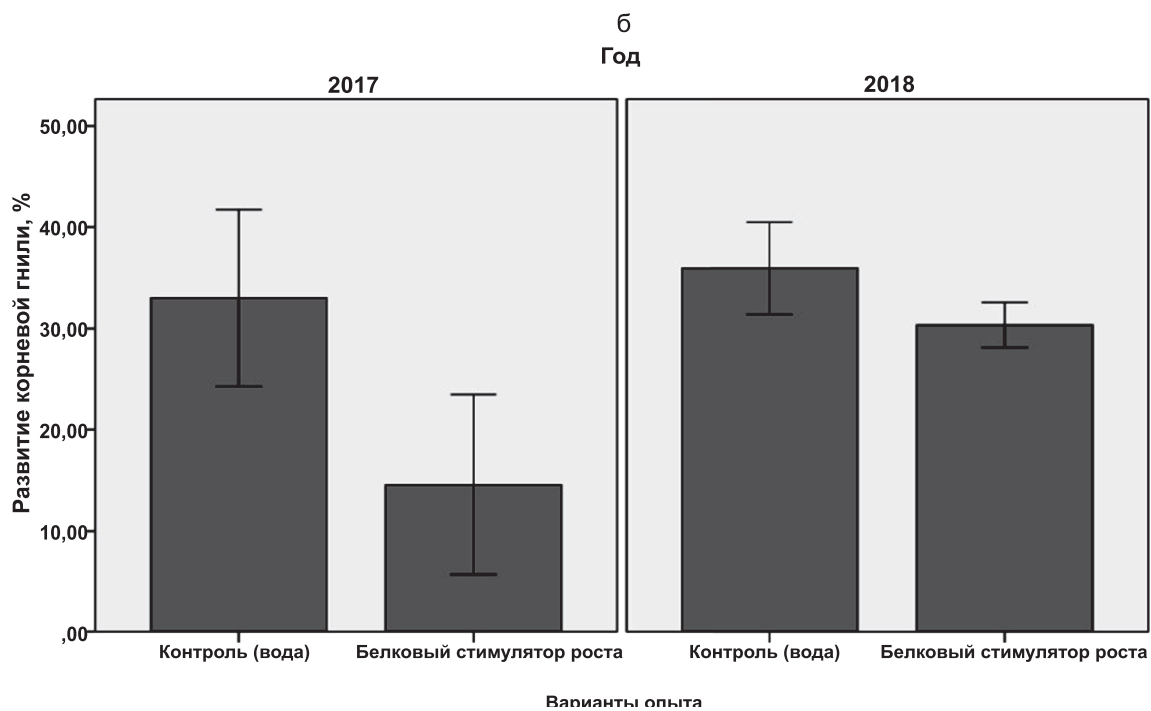
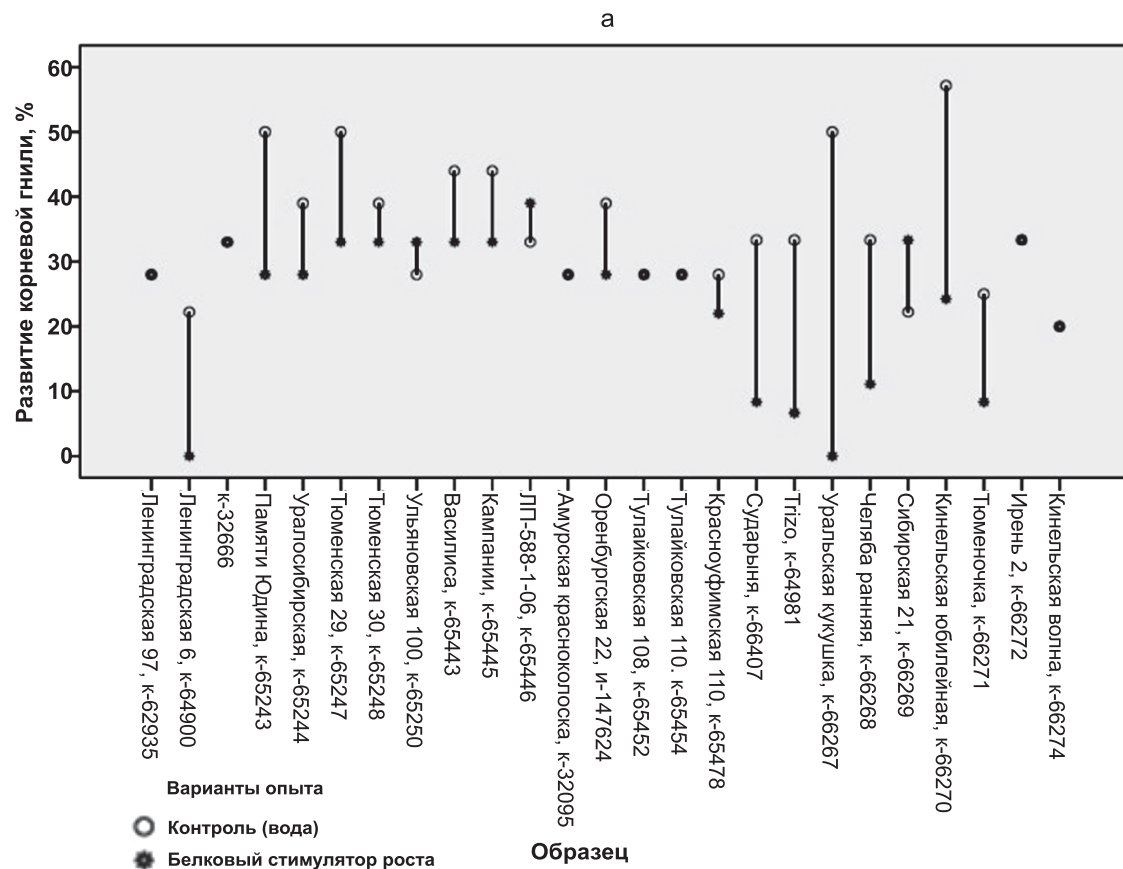


Рис. 3. Изменение интенсивности развития гельминтоспориозной корневой гнили при применении белкового стимулятора роста, 2017–2018 гг. (а – по каждому сорту, б – усредненные значения по вариантам).

разнообразием спектров яркости. Природа этих различий нуждается в дополнительном исследовании.

На втором этапе исследования провели сравнение показателей патогенеза пшеницы, формируемых при развитии возбудителей болезней в вариантах при обработке белковым стимулятором роста и без обработки (контрольная группа). На рис. 3 отражено изменение интенсивности развития гельминтоспориозной корневой гнили при применении белкового стимулятора роста. Методом микроскопического анализа идентифицирован гриб *Bipolaris sorokiniana* (Sacc. in Sorokin) Shoemaker, известный до недавнего времени как *Helminthosporium sativum* Pammel C.J. King et Bakke. Он способен инфицировать все надземные и подземные органы растения – хозяина и вызывает темно-бурную пятнистость листьев, гельминтоспориозную корневую гниль и черный зародыш семян.

При применении белкового стимулятора роста интенсивность развития гельминтоспориозной корневой гнили снизилась в среднем у 19,4% образцов пшеницы на 60% по сравнению с контролем (рис. 3), в большей степени на четырех сортах пшеницы: Сударыня, к–66407 (на 25%); Trizo, к–64981 (на 26,5%); Кинельская юбилейная, к–66270 (на 32%); Уральская кукушка, к–66267 (на 50%).

В варианте с применением белкового стимулятора роста на флаговых и предфлаговых листьях пшеницы развитие мучнистой росы, вызываемой узкоспециализированным грибом *Blumeria graminis f. sp. tritici* (Bgt), снизилось на 5% (у 40% образцов) при оценке показателя по общепринятой визуальной шкале и особенно существенно (на 11%) на сорте Тюменочка, к–66271. Однако подсчет числа пятен с налетом возбудителя выявил снижение показателя у 67% образцов в среднем на 36%, а анализ площади пятен с налетом возбудителя – у 61,1% образцов (статистически достоверно у 20%) на 52%. В большей степени площадь пятен с налетом этого возбудителя уменьшилась на сортах Тулайковская 110, к–65454 (на 45%); Кинельская волна, к–66274 (на 85,6%); Сударыня, к–66407 (на 84,8%); Кампанин, к–65445 (на 90,8%).

Развитие бурой ржавчины пшеницы (*Puccinia recondita f. sp. tritici* Rob. ex Desm.), определенной по визуальной шкале, при внекорневом опрыскивании растений белковым стимулятором роста снизилось у 40% образцов незначительно – на 2,9%, а при точном подсчете числа пустул/лист у 40% образцов – на 76,8% (достоверно у 8% образцов). В основном препарат влиял на площадь пустулы, которая уменьшилась у 48% образцов на 79,7% (статистически достоверно у 24% образцов).

Септориоз также относится к особо вредоносным и распространенным заболеваниям пшеницы, потери урожая от которого могут достигать 30%. При анализе предфлаговых листьев пшеницы были идентифицированы два основных вида: *Stagonospora nodorum* (Berk.) Castell. et Germano и *Septoria tritici* Roberge ex Desm. Применение белкового стимулятора роста способствовало снижению интенсивности развития септориоза на предфлаговых листьях пшеницы в среднем на 15,9% (у 72% образцов, статистически достоверно у 24%).

Таким образом, экспериментально показана перспективность использования нового белкового стимулятора роста и развития растений для повышения продуктивности и защиты пшеницы от болезней. Его эффективность в сильной степени зависела от сорта пшеницы. Вследствие неоднородности результатов различных вариантов эксперимента целесообразно дальнейшее продолжение исследований.

Литература

1. Лимко Н.М., Коломиец С.Н. Продуктивность и качество зерна озимой пшеницы сорта Московская 39 в зависимости от уровня минерального питания в условиях ЦРНЗ // *Зерновое хозяйство*. – 2007. – № 7. – С. 12–14.
2. *Технологии XXI века в агропромышленном комплексе России*. – М.: Россельхозакадемия. – 2011. – 328 с.
3. Корчагин В.А., Шевченко С.Н., Зудилин С.Н., Горянин О.И. Инновационные технологии возделывания полевых культур в АПК Самарской области: учебное пособие. – Кинель: РИЦ СГСХА, 2014. – 192 с.
4. Павлюшин В.А., Вилкова Н.А., Сухорученко Г.И., Тютюрев С.Л., Нефедова Л.И. Новая парадигма развития защиты растений и ее концептуальное научно-практическое решение // *Вестник защиты растений*. – 2016. – Т. 89. – № 3. – С. 126–127.
5. Архипов М.В., Данилова Т.А., Павлюшин В.А., Синицына С.М., Пасынкова Е.Н., Тюкалов Ю.А. Пути и возможности фитосанитарной оптимизации агроэкосистем Северо-Западного региона России // *Вестник защиты растений*. – 2017. – № 2 (92). – С. 5–14.
6. Сидоров А.В., Федосенко Д.Ф., Голубев С.С. Селекция яровой мягкой пшеницы на адаптивность // *Вестник КрасГАУ*. – 2017. – № 3. – С. 3–8.
7. Шевелуха В.С. *Регуляторы роста растений*. – М.: Агропромиздат, 2010. – 175 с.
8. Кефели В.И. *Природные ингибиторы роста и фитогормоны*. – М.: Наука, 2014. – 253 с.
9. Тютюрев С.Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам // *Вестник защиты растений*. 2015. – Т. 1. – № 83. – С. 3–13.
10. Шаповал О.А., Можарова И.П., Барчукова А.Я., Коршунов А.А., Мухина М.Т., Лазарева А.С., Грабовская Т.Ю., Крутяков Ю.А. *Регуляторы роста растений в агротехнологиях основных сельскохозяйственных культур: Монография*. – М.: ВНИИА, 2015. – 350 с.
11. Колесников Л.Е., Новикова И.И., Суринов В.Г., Попова Э.В., Прияткин Н.С., Колесникова Ю.Р. Оценка эффективности совместного применения хитозана и микробов-антагонистов в защите яровой мягкой пшеницы от болезней с использованием спектрального анализа // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2018. – Т. 54 – № 5. – С. 1–8.
12. Колесников Л.Е., Попова Э.В., Новикова И.И., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Колесникова Ю.Р., Потрахов Н.Н., Van Duijn B., Гусаренко А.С. Совместное использование штаммов микроорганизмов и хитозановых комплексов для повышения урожайности пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. – 2019. – Т. 54. – № 5. – С. 1024–1040.
13. Sudisha J., Arun Kumar, Kestur N. Amruthesh, Siddapura R. Niranjana, Hunthrike Shekar Shetty Elicitation of resistance and defense related enzymes by raw cow milk and amino acids in pearl millet against downy mildew disease caused by *Sclerospora graminicola* // *Crop Protection*. – 2011. – V. 30(7). – P. 794–801. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.02.010>.
14. Yi-Zhou Che, Yu-Rong Li, Hua-Song Zou, Li-Fang Zou, Bing Zhang, Gong-You Chen. A novel antimicrobial protein for plant protection consisting of a X-anthomonas oryzae harpin and active domains of cecropin A and melittin // *Microbial Biotechnology*. – 2011. – V. 4. – P. 777–793. doi:10.1111/j.1751-7915.2011.00281.x
15. Salwa A.R. Hammad, Osama A.M. Ali Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat

- plants by application of amino acids and yeast extract // *Annals of Agricultural Sciences*. – 2014. – V. 59(1). – P. 133–145. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2014.06.018>.
16. Wang S., Bao L., Song D., Wang J., Cao X., Ke S. Amino acid-oriented poly-substituted heterocyclic tetramic acid derivatives as potential antifungal agents // *European Journal of Medicinal Chemistry*. – 2019. – V.179. – P. 567–575. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.06.078>.
 17. Куцакова В.Е., Кременевская М.И., Добрягин Р.В., Калинина О.А., Павлова А.И. Использование белковых стимуляторов из побочных продуктов мясопереработки для нужд естественных кормовых угодий // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. – 2014. – № 4. – С. 107–112.
 18. Байдакова М.В., Ситникова В.Е., Успенская М.В., Кременевская М.И., Соснина О.А., Лебедева Т.В. Методы синтеза и исследование свойств акриловых композитов на основе белкового наполнителя «Биостим» // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. – 2017. – № 4. – С. 13–19.
 19. Кременевская М.И., Колесников Л.Е., Разумова И.Е. Влияние белкового стимулятора из спилка крупного рогатого скота на элементы продуктивности пшеницы и интенсивность развития болезней // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета* – 2018. – № 4(53). – С. 80–87.
 20. Baidakova M., Sitnikova V., Uspenskaya M., Olekhovich R., Kremenevskaya M. Baidakova M. Polymer acrylic hydrogels with protein filler: Synthesis and characterization // *Agronomy Research* – 2019. – Vol. 1. – N. 17. – P. 913–922.
 21. Архипов М.В., Великанов Л.П., Желудков А.Г., Гусакова Л.Г., Алферова Д.В., Потрахов Н.Н., Прияткин Н.С. Возможности биофизических методов в агрофизике и растениеводстве // *Биотехносфера*. – 2013. – № 6 (30). – С. 40–43.
 22. Патент № 2533037 РФ: МПК С 05 F 1/00, А 01 N 33/00. Способ получения белкового стимулятора роста и развития растений / В. Е. Куцакова, С. В. Фролов, М. И. Кременевская, В. И. Марченко – № 201334879/13; заявл. 24.08.2013; опубл. 20.11.2014. Бюл. № 32. – 6 с.
 23. Архипов М.В., Прияткин Н.С., Гусакова Л.П., Потрахов Н.Н., Грязнов А.Ю., Бессонов В.Б., Ободовский А.В., Староверов Н.Е. Рентгеновские компьютерные методы исследований структурной целостности семян и их значение в современном семеноведении // *Журнал технической физики*. – 2019. – Т.89. – №4. – С. 627–638. DOI: 10.21883/JTF.2019.04.47324.170
 24. Мусаев Ф.Б., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Щукина П.А., Бухаров А.Ф., Иванова М.И. Цифровая морфометрия разнокачественности семян овощных культур // *Картофель и овощи*. – 2018. – №6. – С.35–37. РИНЦ, ВАК DOI: 10.25630/PAV.2018.6.18234
 25. Пасынкова Е.Н., Завалин А.А., Пасынков А.В. Содержание сахаров и общего азота в яровой пшенице по фазам вегетации как диагностические показатели функционального состояния растений // *Достижения науки и техники АПК*. – № 1. – 2013. – С.8–11.
 26. Новиков Н.Н. Новый метод диагностики азотного питания и прогнозирования качества зерна пшеницы // *Известия ТСХА*. – 2017. – Вып. 5. – С.29–40.

Поступила в редакцию 21.01.20
 После доработки 10.02.20
 Принята к публикации 15.02.20