

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-04

Оригинальное исследование

Изучение устойчивости к некоторым заболеваниям сортов и линий яровой пшеницы питомника КАСИБ-22

Е.В. Агеева , Т.Н. Капко , В.В. Советов 

Аннотация: Наблюдаемые изменения климата не только приводят к варьированию гидротермических условий, но и сказываются на развитии растений, распространении и проявлении заболеваний. На сегодняшний день главная задача селекционера – создание сортов, устойчивых к стрессовым факторам и способных давать высокий и стабильный урожай. В работе представлены результаты оценки устойчивости образцов мягкой пшеницы из питомника КАСИБ-22 к основным листовым патогенам и пыльной головне. Цель исследования – иммунологический мониторинг сортов и линий российской и казахстанской селекции в условиях лесостепной зоны Приобья. Объектом исследований выбраны 44 образца пшеницы, полученные из различных регионов России и Казахстана в рамках программы челночной селекции КАСИБ. Полевые наблюдения в 2021–2022 гг. позволили выделить генотипы, обладающие высокой устойчивостью к местным популяциям возбудителей бурой ржавчины, пыльной головни и мучнистой росы. Так, комплексной устойчивостью к этим патогенам обладают Линия Пт-235, Линия Пт-311, Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Лютеценс 1489, Лютеценс 76-17. По результатам корреляционного анализа отмечена сильная отрицательная связь между урожайностью и развитием листовых патогенов. Более благоприятным для формирования высокой урожайности был 2021 г. Урожайность на уровне 51.0 ц/га и выше получена у генотипов Новосибирская 18, Линия Пт-311, КС 60/09-9 и Лютеценс 71/10-4. В 2022 г. максимальная урожайность составила 46.9 ц/га (Лютеценс 1486). В качестве высокопродуктивных и обладающих высокой и средней устойчивостью к бурой ржавчине, мучнистой росе и пыльной головне отмечены селекционные образцы Линия Пт-311 (Курганский НИИСХ), Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Линия 1616ae14 (Самарский НИИСХ), Лютеценс 1356 (ИЦиГ СО РАН). Каждая из указанных линий представляет практическую ценность для селекции.

Ключевые слова: яровая пшеница; мучнистая роса; бурая ржавчина; пыльная головня; устойчивость.

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Для цитирования: Агеева Е.В., Капко Т.Н., Советов В.В. Изучение устойчивости к некоторым заболеваниям сортов и линий яровой пшеницы питомника КАСИБ-22. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(1):21-29. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-04

Original article

Study of varieties and lines of wheat in the KASIB-22 nursery for resistance to certain diseases

Е.В. Ageeva , Т.Н. Капко , V.V. Sovetov 

Abstract: Observed climate changes lead to variations in hydrothermal conditions, and also affect the development of plants and the spread and manifestation of diseases. To date, the main task of the breeder is to create varieties that are resistant to stress factors and capable of producing a high and stable yield. The paper presents the results of assessing the resistance of common wheat from the KASIB-22 nursery to the main leaf pathogens and head smut. The purpose of the study is the immunological monitoring of varieties and lines of Russian and Kazakh selection in the conditions of the forest-steppe zone of the Ob region. The object of research was 44 samples of wheat obtained from various regions of Russia and Kazakhstan as part of the KASIB shuttle breeding program. Field observations in 2021–2022 made it possible to identify genotypes with high resistance to local populations of pathogens of leaf rust, loose smut and powdery mildew. Complex resistance to these pathogens is possessed at Line Pt-235, Line Pt-311, Lutescens 1462, Lutescens 1486, Lutescens 1489, Lutescens 76-17. According to the results of the correlation analysis, a strong negative relationship was noted between the yield and the development of leaf pathogens. The year 2021 was more favorable for the formation of high yields. Yields at the level of 51.0 c/ha and above were obtained in Novosibirskaya 18, Line Pt-311, KS 60/09-9 and Lutescens 71/10-4 genotypes. In 2022, the maximum yield was 46.9 c/ha (Lutescens 1486). The following breeding lines were noted as highly productive and having high and

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

 elenakolomeec@mail.ru

 © Агеева Е.В., Капко Т.Н., Советов В.В., 2023

medium resistance to leaf rust, powdery mildew and loose smut: Line Pt-311 (Kurgan Research Institute of Agriculture), Lutescens 1462, Lutescens 1486, Line 1616ae14 (Samara Research Institute of Agriculture), Lutescens 1356 (Institute of Cytology and Genetics, SB RAS). Each of the selected lines is of practical value for breeding.

Key words: common wheat; powdery mildew; leaf rust; loose smut; resistance.

For citation: Ageeva E.V., Kapko T.N., Sovetov V.V. Study of varieties and lines of wheat in the KASIB-22 nursery for resistance to certain diseases. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(1):21-29. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-04 (in Russian)

Введение

В последние годы климат на Земле заметно меняется (Magomedov et al., 2021; Soroush et al., 2022), влияя на температуру воздуха и амплитуду выпадения осадков. Климатическая изменчивость играет значительную роль в формировании урожая растений и распространении и проявлении заболеваний. Пшеница – одна из основных продовольственных культур, качество зерна которой значительно зависит от технологии возделывания и почвенно-климатических условий вегетации (Сергеева и др., 2020; Vannoppen, Gobin, 2021).

В 2000 г. СИММИТ в сотрудничестве с ведущими научно-исследовательскими институтами пшеницы Северного Казахстана и Западной Сибири создал Казахстанско-Сибирскую сеть по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ) (Morgounov et al., 2007). Основная цель проекта заключается в проведении совместных испытаний в нескольких географических точках, обмене генетическим материалом и координированной оценке перспективных селекционных линий и новых сортов по комплексу агрономических показателей, таких как урожайность зерна и устойчивость к болезням (Morgounov et al., 2020). Первый КАСИБ собрал 12 селекционных и научно-исследовательских учреждений, занимающихся изучением пшеницы, сегодня сеть объединяет 18 учреждений-участников (Шаманин, Чурсин, 2008; Morgounov et al., 2022).

Засушливая погода отрицательно сказывается на распространении патогенов бурой ржавчины, мучнистой росы и пыльной головни, тогда как годы, сопровождаемые повышенным выпадением осадков и низкой температурой воздуха, благоприятны для возбудителей. Бурая ржавчина относится к одной из распространенных болезней пшеницы, которая может приводить к значительному снижению урожая. Заражение мучнистой росой уменьшает интенсивность фотосинтеза листовой пластинки и дыхания растения. Также поражение данным патогеном приводит к снижению массы зерна (Койшыбаев, 2018).

Заражение зерновых культур пыльной головней происходит в период цветения. В благоприятный год пыльная головня может привести к значительным потерям урожая – не только к явным, но и скрытого характера: формированию меньшего по размеру колоса, пониженной озерненности колосков и т. д. (Доброзракова, 1974). Сортообразцы из питомника КАСИБ в качестве исходного материала могут иметь важное значение в решении задачи повышения устойчивости пшеницы к листовым болезням за счет расширения генотипического разнообразия (Шаманин, Потоцкая, 2016). Цель исследования – иммунологический мониторинг

сорт и линий российской и казахстанской селекции в условиях лесостепной зоны Приобья.

Материалы и методы

В условиях Новосибирской области на опытном поле лаборатории селекции, семеноводства и технологии возделывания полевых культур СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН (ГУСП ОПХ «Элитное») в 2021–2022 гг. у 44 генотипов из питомника КАСИБ-22 оценены урожайность, продолжительность вегетационного периода и устойчивость к болезням (мучнистая роса, пыльная головня, бурая ржавчина). Сорты представлены из различных регионов России (21 генотип) и Казахстана (15). В питомнике задано 5 международных стандартов: Терция (Омск, РФ), Памяти Азиева (Омск, РФ), Астана 2 (Акмолинская обл., Казахстан), Омская 35 (Омск, РФ) и Саратовская 29 (Саратов, РФ). В качестве местных стандартов взяты сорта Новосибирская 41, Новосибирская 18 и Сибирская 12. Посев проведен по пару, деланки площадью 2 м², 3-кратная повторность. Посев осуществлен во второй декаде мая в сроки, оптимальные для посева мягкой яровой пшеницы.

Сортообразцы питомника разделены на три группы по срокам созревания: раннеспелые и среднеранние, средне-спелые, среднепоздние. Разграничение на поздние и ранние условное, так как эти сорта выращивают вне конкретных условий среды и района их создания. Продолжительность вегетационного периода у сортов и линий яровой пшеницы для Новосибирского Приобья определена по методике С.И. Леонтьева (1980), используемой многими исследователями: к скороспелым относятся формы с вегетационным периодом в 70–75 сут., к среднеранним – 76–78 сут., к средне-спелым – 80–82 сут. и среднепоздним – 84–86 сут.

Учеты бурой ржавчины проводили в фазу молочной спелости зерна. Степень поражения сортов мягкой яровой пшеницы ржавчиной оценивали по шкале СИММИТ, где О – отсутствие патогена; R – устойчивость, поражение листьев не более 5–10 %; MR – средняя устойчивость, поражение листьев не более 30 %; MS – средняя восприимчивость, пораженность листьев до 40–50 %; S – восприимчивость, поражение листьев свыше 75 % (Койшыбаев, Муминджанов, 2016).

Степень поражения мучнистой росой определяли в фазу от стеблевания до колошения по шкале Э.Э. Гешеле, где: 0 – 0 % поражение площади листа; 1 – 10 %; 2 – 20 %; 3 – 30 %; 4 – 40 %; 5 – 50 %; 6 – 60 %; 7 – 70 %; 8 – 80 %; 9 – 90 % (Койшыбаев, Муминджанов, 2016). Пыльную головню удобнее учитывать в фазе колошения–цветения, когда пораженные растения лучше заметны в посеве (Танский и др.,

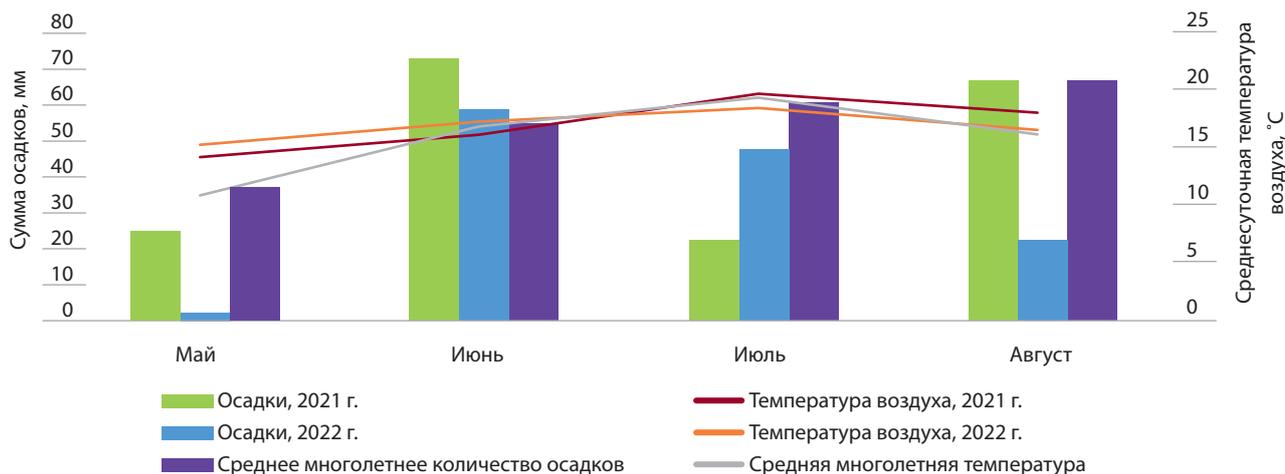


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха и количество осадков за 2021–2022 гг.

Fig. 1. Average daily air temperature and precipitation for 2021–2022

2004). Поражение пыльной головней допускается на уровне 0.3–0.5 %. Различают следующие степени поражения: 0.01–0.20 % – единичная (1 балл); 0.21–1.0 % – слабая (2 балла); 1.01–3.00 % – средняя (3 балла); 3.01 % и более – сильная (4 балла) (Шутко, Тутуржанс, 2018).

Математическую обработку полученных данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов (Доспехов, 1979) с использованием Microsoft Office Excel 2013.

Погодные условия в 2021–2022 гг. были контрастными, о чем свидетельствуют данные сайта pogodaiklimat.ru¹. В мае 2021 г. наблюдалась сильная засуха, сопровождавшаяся жаркой погодой, – среднемесячная температура достигла 15.3 °C, в то время как среднеемноголетнее значение по температуре воздуха составляет 10.9 °C (рис. 1). Температура воздуха в первой половине лета была на уровне среднеемноголетних значений – 17.6 °C, но отличалась засушливостью. За II и III декады июля выпало всего 4.4 мм осадков. Это время критично для формирования и налива зерна. Засушливые явления в эту стадию могут привести к значительному снижению массы 1000 зерен (Nicolas et al., 1984). В течение всего августа сохранялась жаркая погода. Осадков в этот месяц выпало в пределах нормы, но стоит отметить, что более 54 % осадков пришлось на вторую декаду.

Вегетационный период 2022 г. был теплым и характеризовался низкой влагообеспеченностью – был слабо засушлив (ГТК = 0.66). При этом распределение осадков с мая по август было неравномерным: от сильной засухи в мае до оптимального увлажнения в июне. В июне отмечено достаточное увлажнение (ГТК = 1.22). Однако практически с самого начала первой декады и до середины второй практически не было осадков, что негативно отразилось на кушении. Температура воздуха в среднем за месяц была чуть выше среднеемноголетнего значения. Влагообеспеченность июля, обычно характеризующегося обильными осадками,

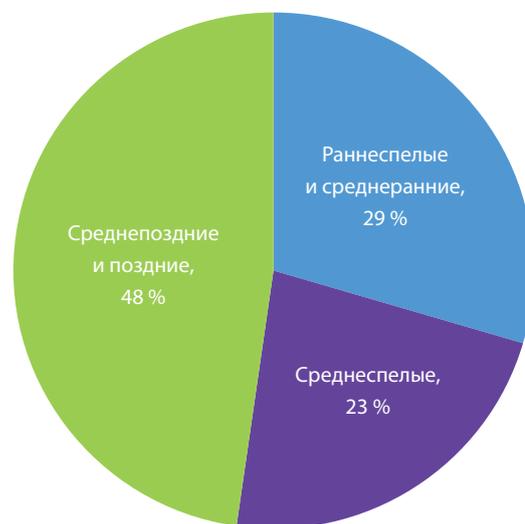


Рис. 2. Распределение сортов и линий по группам спелости

Fig. 2. Distribution of varieties and lines according to maturity groups

была недостаточной (ГТК = 0.81). В целом месяц был жаркий и засушливый. Август также можно охарактеризовать как жаркий и засушливый. За весь месяц выпало всего 23 мм осадков, проявление гидротермических условий привело к средней засухе (ГТК = 0.45). Тем не менее погодные условия позволили растениям успешно и своевременно завершить вегетацию, при этом уборка проведена в сухую и теплую погоду.

Результаты

Продолжительность вегетационного периода зависит от зональных особенностей места проведения опыта, происхождения сорта и метеорологических условий в период вегетации растений (Никитина, 2019). За годы исследования продолжительность вегетационного периода в зависимости от погодных условий была нестабильна (рис. 2). В пер-

¹ Погода в Новосибирске. Погода и климат; 2021–2022 [обновлено 5 декабря 2022; процитировано 5 декабря 2022]. Доступно: <https://pogodaiklimat.ru>

вый год (2021 г.) длительность периода у изучаемых образцов составила 78–85 сут. Большинство генотипов созревали за 80–82 сут. В 2022 г. сорта и линии созревали преимущественно за 84 сут. и более (17 образцов), линии Лютеценс 1356 и Лютеценс 1364 – за 71 сут.

Двухфакторный дисперсионный анализ по урожайности зерна сортов и линий мягкой яровой пшеницы показал, что вклад изменчивости, вызванной влиянием погодных условий (годы), составляет 51.2 %, тогда как генотипическая изменчивость (сорт) и взаимодействие двух факторов составляют 15.7 и 5.2 % соответственно общего фенотипического варьирования признака (табл. 1). Вариансы, отражающие действие генотипических различий между образцами и влияние погодных условий (годы), оказались высоко достоверны.

В контрастные по метеорологическим условиям годы у сортов и линий набора КАСИБ-22 наблюдалось заметное колебание урожайности. В 2021 г. урожайность была в пределах от 35.2 (Лютеценс 2244) до 56.7 (Лютеценс 1462) ц/га, а в 2022 г. в связи с засушливыми условиями в начале вегетации, которые привели к снижению кущения и массы 1000 зерен, отмечено варьирование урожайности от 17.8 (Лютеценс 8-12-18) до 46.9 (Лютеценс 1486) ц/га (табл. 2). В 2021 г. среди стандартов в группе среднеранних и ранних наибольшая урожайность отмечена у международного стандарта Памяти Азиева – 44.0 ц/га, тогда как у местного стандарта показатель составил 40.0 ц/га. Хуже всех в сложившихся условиях в данной группе проявляли себя стандартный сорт Астана 2 (39.5 ц/га) и линия Лютеценс 2244 (35.2 ц/га). Достоверно превосходили в сложившихся метеорологических условиях стандартные сорта генотипы Лютеценс 8-12-18 (47.8 ц/га), Лютеценс 1356 (49.8 ц/га), Лютеценс 82/09-7 (48.6 ц/га), Ялуторовка (48.2 ц/га) и Агрономическая 5 (47.3 ц/га).

В 2021 г. в группе среднеспелых сортов наибольшая урожайность определена у местного стандарта Новосибирская 18 (51.4 ц/га). Урожайность у международного сорта (Саратовская 29) составила 42.0 ц/га, а достоверное превышение над этим стандартом наблюдалось у 7 образцов. Наибольшая урожайность отмечена у генотипов Линия Пт-311 (51.0 ц/га), Линия Чт-11 (49.0 ц/га) и Лютеценс 76-17 (49.4 ц/га). Сложившиеся погодные условия вегетации отрицательно сказались на урожайности среднепоздних сортов и линий: у 8 генотипов отмечена низкая урожайность, в том числе у стандартного сорта Терция (45.7 ц/га). Среди стандартов наибольшая урожайность выявлена у сорта Омская 35 (53.6 ц/га). Достоверное превышение урожайности над показателем стандартного сорта Омская 35 выявлено лишь у генотипа Лютеценс 1462 (56.7 ц/га). Также по данному хозяйственно ценному признаку выделились 9 генотипов (Линия 2/03-09-3, Лютеценс 77 201/09, KS 14/09-2, KS 60/09-9, KS 61/09-4, KS 285/12-1586, Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Лютеценс 136/10-1, Линия 161ae14), которые достоверно превосходили местный стандартный сорт Сибирская 12.

Отсутствие осадков в период «всходы–кущение» и низкий уровень запасов продуктивной влаги в почве перед по-

севом в 2022 г. существенно снизили урожайность сортов и линий. Для Новосибирской области важное значение имеют раннеспелые и среднеранние сорта (Лихенко и др., 2021). В группе раннеспелых и среднеранних достоверно высокая урожайность отмечена у линий Лютеценс 342/08 (33.1 ц/га), Лютеценс 1356 (34.3 ц/га) и Агрономическая 5 (33.5 ц/га). Несмотря на то что Лютеценс 1356 созрел всего за 71 сут., продуктивность данного сортообразца была высокой. Сильнее всего сложившиеся почвенно-климатические условия отразились на урожайности образца из Карабалыкской СХОС – Лютеценсе 8-12-18, урожайность которого была минимальной, составив 17.8 ц/га. В группе среднеспелых наибольшая урожайность с достоверным превышением над стандартами отмечена у образцов Линия 198/225-2020 (30.4 ц/га), Линия Чт-11 (32.3 ц/га), Линия Пт-311 (33.7 ц/га), Пт-311 (33.7 ц/га) и Лютеценс 76-17 (30.5 ц/га). В питомнике КАСИБ-22 среднепоздние сорта играют важную роль, так как могут использовать поздние осадки периода вегетации, которые и позволяют данным сортам формировать высокую продуктивность. Среди стандартных сортов в данной группе спелости наибольшая урожайность отмечена у сорта Терция (30.1 ц/га), возможно, у которой относительно высокая растений по сравнению с другими стандартами этой группы спелости гомеостатическая реакция. Превышение по урожайности над стандартным сортом Терция отмечено у 8 генотипов. Наибольший интерес среди выделившихся генотипов представляет линия Лютеценс 1462, которая созрела на сутки раньше стандарта (89 сут.) и давала урожайность выше на 15.6 ц/га (45.7 ц/га). Наибольшая урожайность в данной группе спелости зарегистрирована у линии Лютеценс 1486 (Самарский НИИСХ) – 46.7 ц/га.

За два года изучения среди среднеранних и ранних сортов по урожайности выделились Лютеценс 342/08 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева), Лютеценс 1356 (ИЦиГ СО РАН), Ялуторовка (ГАУ Северного Зауралья), Агрономическая 5 (Омский ГАУ); среди среднеспелых – Линия 198/255-2020 (Актюбинская СХОС), Лютеценс 176/09 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева), Линия Чт-11 (Курганский НИИСХ), Линия Пт-235 (Курганский НИИСХ), Линия Пт-311 (Курганский НИИСХ), Лютеценс 76-17 (Омский ГАУ); среди среднепоздних и позднеспелых – Линия 2/03-09-3 (Павлодарская СХОС), KS 60/09-9 KS («Кургансемена»), 61/09-4 («Кургансемена»), KS 285/12-1586 («Кургансемена»), Лютеценс 1462 (Самарский НИИСХ), Лютеценс 1486 (Самарский НИИСХ), Линия 161ae14 (Самарский НИИСХ).

Болезни листьев влияют на взаимосвязь урожайности и компонентов урожая мягкой пшеницы. Результаты экспериментов показывают, что пораженность патогенами листьев изучаемых сортов в основном зависит от погодных условий. При благоприятных условиях для развития болезней наблюдалось увеличение поражения на 20–30 %. Мучнистая роса (*Erysiphe graminis* DC.) относится к числу наиболее распространенных болезней пшеницы. Ее вредоносность на посевах этой культуры составляет 35–40 % (Simeone et al., 2020). Начало распространения возбудителя мучнистой росы в оба года изучения отмечено в начале июля. Погодные условия (жаркая и влажная погода в июне) изучаемых лет были благоприятны для распространения возбудителя.

Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа данных урожайности сортов и линий, изученных в опыте (2021–2022)
Table 1. The results of the variance analysis of data on the yield of cultivars and lines studied in the experiment (2021–2022)

Источник варьирования	Сумма квадратов (ss)	Степень свободы (df)	Средний квадрат (ms)	Критерий Фишера (F)	Доля влияния фактора, %
Общая	35,429.7	263	134.7	–	100
Годы (A)	18,216.9	1	18,216.9	326.4*	51.2
Сорт (B)	5552.8	43	129.1	2.3*	15.7
Взаимодействие A × B	1837.9	43	42.7	0.77	5.2
Случайные отклонения	9822.2	176	55.8	–	27.7

* $p < 0.05$

В 2021 г. в первой декаде июля выпало 18 мм осадков, что выше среднемноголетнего значения на 2 мм. Тогда как в начале июля в 2022 г. выпало 27 мм осадков. Примечательно, что погодные явления июня 2022 г. оказались весьма благоприятны для повышенного развития листостеблевых заболеваний пшеницы. Жаркая и влажная погода в июне привела к вспышке мучнистой росы (рис. 3, а).

Большинство сортов и линий в 2021 и 2022 гг. имели степень поражения 0–10 % (19 и 18 образцов) и 20–30 % (23 и 17 образцов) соответственно. Наиболее устойчивыми к патогену в оба года исследования оказались образцы Лютеценс 8-12-18, Линия Пт-311, KS 60/09-9, KS 61/09-4, KS 285/12-1586, Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Лютеценс 1489, Лютеценс 76-17, Лютеценс 82/09-7, Лютеценс 136/10-1, Лютеценс 71/10-4, Линия 1616ae14. В 2021 г. поражение мучнистой росой в 60 % отмечено у Лютеценса 176/09, у Династии – в 40 %. Поражение от 60 % и выше в 2022 г. наблюдалось у генотипов казахстанской селекции: Династия (60 %), Линия 198/225-2020 (60 %), Линия 205-2020 (80 %), Лютеценс 176/09 (60 %), Лютеценс 2244 (60 %), Лютеценс 2219 (60 %), Лютеценс 2223 (60 %), Линия 23/07 (80 %) и стандартный сорт Терция (60 %).

Листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Erikss.) широко распространена в условиях Новосибирской области. Патоген известен во всех регионах возделывания культуры и приводит к ежегодным потерям урожая от 5–10 до 50–70 % (в годы эпифитотий) (Eversmeyer, Kramer, 2000). Условия первой половины вегетационного периода сложились благоприятными для распространения данного патогена на опытных полях в 2021 г. Особое значение для возбудителя имеет начало третьей декады июля. Популяризация патогена оценена в среднем как 20MR–60S (у 26 образцов) (см. рис. 3, б). Отсутствие заражения грибом *Puccinia tritici* E. наблюдалось у образцов Лютеценс 8-12-18, Терция, Линия Пт-235, Линия Пт-311, Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Лютеценс 1489, Агрономическая 5, Лютеценс 76-17 и Лютеценс 71/10-4. Линия 1616ae14 и Лютеценс 82/09-7 были практически устойчивы к возбудителю (0-10R). Распространение бурой ржавчины во второй год изучения у набора сортов и селекционных линий в условиях естественного фона также зафиксировано в третью декаду июля. Из-за значительного

поражения септориозом и отмирания существенной части листа поражение бурой ржавчиной было слабым и оценено как 0–30MR (у 39 образцов).

Устойчивость к *Puccinia tritici* E. в 2022 г. отмечена на тех же сортах и селекционных линиях, что и в 2021 г. Сильнее всего подвергались заражению данным патогеном в оба года изучения Лютеценс 176/09, Линия 435/12 и Лютеценс 77 201/09 – поражение у этих образцов оценено в 60S.

Среди листостеблевых болезней яровой пшеницы пыльную головню (*Ustilago tritici* (Pers.) Jens.) относят к одной из наиболее распространенных и опасных. На полях, где отсутствует контроль над ее распространением, потери урожая могут составлять до 10 %, а при возделывании высоковосприимчивых сортов – 40–50 % (Орлова, Бехтольд, 2019). Восприимчивыми к возбудителю пыльной головни в 2021 г. оказались Линия 43/94к-07-7 (1 балл поражения), Линия 2/03-09-3 (1 балл), Лютеценс 30 22/09 (2 балла), Лютеценс 8-12-18 (3 балла), Лютеценс 2244 (1 балл), Сибирская 12 (2 балла), Агрономическая 5 (1 балл), Лютеценс 71/10-4 (1 балл) и Линия 1616ae14 (1 балл) (см. рис. 3, в). Во второй год испытания набора КАСИБ-22 у 16 сортообразцов наблюдалось поражение пыльной головней: 9 образцов – единичное поражение, 6 образцов – слабое поражение, один сорт имел среднее поражение пыльной головней (3 балла). Также можно предположить, что в 2023 г. будет спровоцировано более высокое распространение пыльной головни, поскольку в фазу цветения пшеницы сложились благоприятные условия для патогена: теплая и достаточно влажная погода.

Корреляционный анализ показал наличие сильной связи между урожайностью и развитием листовых патогенов яровой пшеницы. Данные связи свидетельствуют о том, что благоприятное развитие патогена на листе отрицательно сказывается на формировании продуктивности растения яровой мягкой пшеницы. Наибольший урон отмечен в 2021 г. от поражения бурой ржавчиной ($r = -0.62$); в 2022 г. корреляция между урожайностью и бурой ржавчиной была слабой вследствие сложившихся погодных условий вегетации. Отмечена существенная обратная зависимость урожайности от поражения мучнистой росой (в 2021 г. $r = -0.47$, в 2022 г. $r = -0.42$).

Таблица 2. Средняя урожайность и продолжительность вегетационного периода генотипов питомника КАСИБ-22
Table 2. Average yield and duration of the growing season of the genotypes of the KASIB-22 nursery

Генотип	Происхождение	Вегетационный период, сут.	Урожайность, ц/га		
			2021 г.	2021 г.	2021–2022 гг.
Среднеранние и ранние сорта					
Астана 2 st.	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	78	39.5	28.3	33.9
Памяти Азиева st.	Омский АНЦ	80	44.0	27.7	35.9
Новосибирская 41 st.	ИЦиГ СО РАН	79	40.0	21.5	30.8
Лютесценс 342/08	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	79	44.0	33.1	38.6
Лютесценс 8-12-18	Карабалыкская СХОС	78	47.8	17.8	32.8
Лютесценс 2244	Карагандинская СХОС	78	35.2	20.1	27.7
Линия 23/07	Северо-Казахстанская СХОС	79	43.7	25.1	34.4
Лютесценс 1356*	ИЦиГ СО РАН	75	49.8	34.3	42.1
Лютесценс 1364**	ИЦиГ СО РАН	75	45.9	25.9	35.9
Лютесценс 82/09-7	Омский АНЦ	79	48.6	26.9	37.8
Ялуторвка	ГАУ Северного Зауралья	79	48.2	30.1	39.2
ГАУ-11-2016	ГАУ Северного Зауралья	79	42.5	27.8	35.2
Агрономическая 5	Омский ГАУ	85	47.3	33.5	40.4
Средняя по группе	–	78.7	44.3	27.1	35.7
НСР _{0.05}	–	1.7	2.2	1.9	2.1
Среднеспелые сорта					
Саратовская 29 st.	ФАНЦ Юго-Востока	79	42.0	27.4	34.7
Новосибирская 18 st.	ИЦиГ СО РАН	79	51.4	25.7	38.6
Линия 198/225-2020	Актюбинская СХОС	81	44.4	30.4	37.4
Линия 205-2020	Актюбинская СХОС	81	40.2	28.3	34.6
Лютесценс 176/09	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	83	46.7	28.4	37.6
Линия 435/12	Северо-Казахстанская СХОС	81	47.4	24.7	36.1
Линия Чт-11	Курганский НИИСХ	81	49.0	32.3	40.7
Линия Пт-235	Курганский НИИСХ	80	47.6	30.4	39.0
Линия Пт-311	Курганский НИИСХ	81	51.0	33.7	42.4
Лютесценс 76-17	Омский ГАУ	81	49.4	30.5	40.0
Средняя по группе	–	80.5	46.7	29.0	37.8
НСР _{0.05}	–	0.6	2.2	2.5	2.4
Среднепоздние и поздние сорта					
Терция st.	Курганский НИИСХ	81	45.7	30.1	37.9
Омская 35 st.	Омский АНЦ	82	53.6	28.6	41.1
Сибирская 12 st.	ИЦиГ СО РАН	86	50.2	27.7	39.0
Династия	Актюбинская СХОС	83	39.7	24.3	32.0
Линия 43/94к-07-7	Павлодарская СХОС	86	39.5	35.9	37.7
Линия 2/03-09-3	Павлодарская СХОС	86	51.7	32.6	42.2
Лютесценс 77 201/09	Карабалыкская СХОС	87	47.9	28.8	38.4
Лютесценс 30 22/09	Карабалыкская СХОС	87	42.2	26.3	34.3
Лютесценс 2219	Карагандинская СХОС	83	41.7	22.7	32.2
Лютесценс 2223	Карагандинская СХОС	85	40.1	25.0	32.6
KS 14/09-2	«Кургансемена»	87	51.5	29.5	40.5
KS 60/09-9	«Кургансемена»	85	51.6	31.5	41.6
KS 61/09-4	«Кургансемена»	86	51.2	39.7	45.5
KS 285/12-1586	«Кургансемена»	87	49.8	35.6	42.7
Лютесценс 1462	Самарский НИИСХ	87	56.7	45.7	51.2
Лютесценс 1486	Самарский НИИСХ	90	52.4	46.9	49.7
Лютесценс 1489	Самарский НИИСХ	87	42.3	37.5	39.9
Лютесценс 136/10-1	Омский АНЦ	85	50.8	29.3	40.1
Лютесценс 71/10-4	Омский АНЦ	86	51.2	25.3	38.3
Челябинка	Челябинский НИИСХ	82	45.5	36.1	40.8
Линия 1616ae14	Самарский НИИСХ	88	53.6	34.4	44.0
Средняя по группе	–	85.6	50.5	34.6	42.5
НСР _{0.05}	–	1.5	1.7	2.1	1.9

* сорт Загора Новосибирская, передан на государственное сортоиспытание с 2022 г.; ** сорт Суенга, передан на государственное сортоиспытание с 2022 г.

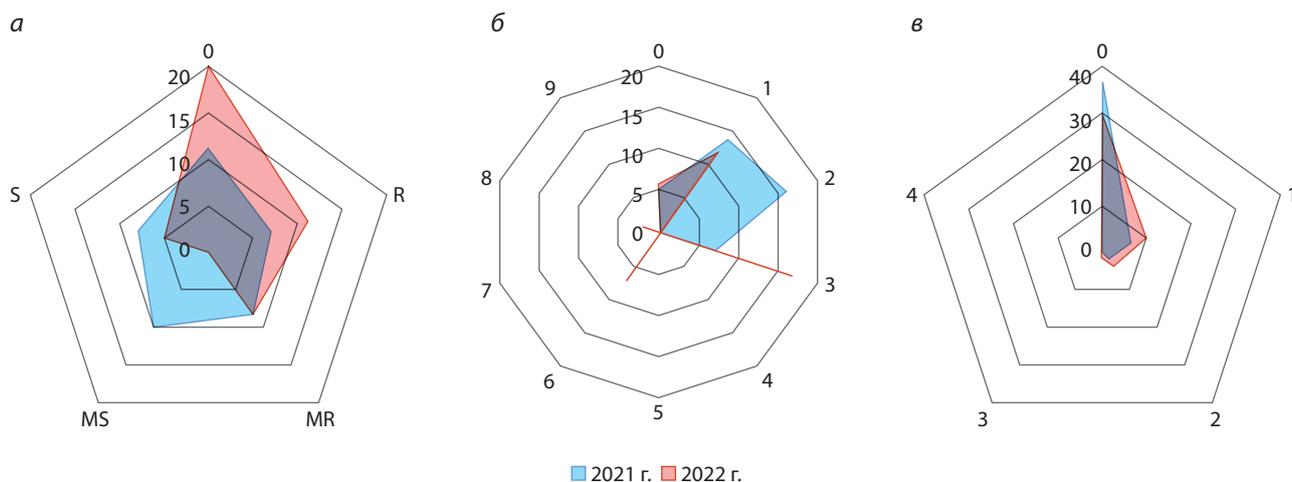


Рис. 3. Поражение набора сортов питомника КАСИБ-22 основными фитопатогенами: а – бурой ржавчиной; б – мучнистой росой; в – пыльной головней

Fig. 3. Infection of a set of varieties of the KASIB-22 nursery with the main phytopathogens: a, leaf rust; b, powdery mildew; c, dusty smut

Обсуждение

Одно из приоритетных направлений селекционных программ яровой мягкой пшеницы – создание селекционного материала с длительной устойчивостью к комплексу патогенов. Генетическое разнообразие российских и казахстанских форм из питомника КАСИБ позволяет получать формы с групповой устойчивостью к основным заболеваниям яровой мягкой пшеницы, так как чем больше источников устойчивости объединено в генотипе, тем больше возможностей получить устойчивые формы. Проведенные Научно-исследовательским институтом проблем биологической безопасности исследования на территории Казахстана в 2021 г. показали, что наиболее устойчивыми к бурой ржавчине следует считать следующие генотипы из набора КАСИБ-22: Династия, Линия 198/225-2020, Лютеценс 30 22/09, Лютеценс 2244, Линия Пт-235, KS 14/09-2, KS 285/12-1586, Лютеценс 1356, Лютеценс 1364, Агрономическая 5, Лютеценс 136/10-1, Лютеценс 71/10-4, ГАУ-11-2016, Челябинка и Линия 1616ae14 (Ысқақова и др., 2021). На территории Новосибирской области большинство этих сортов имели среднюю степень поражения данным патогеном (20MR-40MS), лишь сортообразцы Линия Пт-235, Агрономическая 5, Лютеценс 71/10-4 характеризовались как устойчивые.

Сортообразец Лютеценс 82/09-7 с относительной устойчивостью к новосибирской популяции возбудителя бурой ржавчины также проявлял высокую устойчивость к омской, красноярской и челябинской популяциям (Белан и др., 2017). Линия 1616ae14 имела относительную устойчивость к новосибирской популяции бурой ржавчины. В исследованиях Е.И. Гультяевой и коллег (2019) эта линия продемонстрировала высокий уровень устойчивости к возбудителю в фазе проростков за счет наличия генов *Lr19* и *Lr26*. Линии Лютеценс 136/10-1 и Лютеценс 82/09-1, обладающие комплексной устойчивостью к новосибирским популяциям возбудителей листостебельных патогенов, в условиях Омской области зарекомендовали себя как высокоурожайные и устойчивые к листовым заболеваниям, благодаря чему пе-

реданы на государственное сортоиспытание РФ под названиями Омская крепость и Омская 45² соответственно (Белан и др., 2021).

Заключение

В результате оценки 44 генотипов российской и казахстанской селекции в условиях Приобья Новосибирской области в 2021–2022 гг. выделены сорта и селекционные линии с высокой устойчивостью к листовым болезням и пыльной головне. Комплексная устойчивость к этим патогенам отмечена у образцов Линия Пт-235 и Линия Пт-311 (Курганский НИИСХ); Лютеценс 1462, Лютеценс 1486 и Лютеценс 1489 (Самарский НИИСХ); Лютеценс 76-17 (Омский ГАУ). Средняя устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе, поражение возбудителем которой не превышало 20–30 %, наблюдалась у генотипов Линия 2/03-09-3, KS 14/09-2, KS 61/09-4, KS 285/12-1586, Лютеценс 1364, Агрономическая 5 и Лютеценс 71/10-4. Наибольшее распространение основных листовых заболеваний обнаружено у сортообразцов из Казахстана – Лютеценс 176/09 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева) и Лютеценс 2223 (Карагандинская СХОС), пыльной головни – у Лютеценса 8-12-18 (Карабалыкская СХОС).

Наиболее благоприятные условия для формирования продуктивного колоса яровой мягкой пшеницы сложились в первый год изучения набора КАСИБ-22. Урожайность сортов и линий варьировала от 35.2 до 56.7 ц/га. В 2022 г. тенденция заметно поменялась: урожайность сортообразцов составила 17.8–46.7 ц/га. Наибольший интерес за годы изучения набора по средней урожайности представляют среди ранних сортообразцы Лютеценс 342/08 (38.6 ц/га), Лютеценс 1356 (42.1 ц/га), Ялуторовка (39.2 ц/га), Агрономическая 5 (40.4 ц/га); среди среднеспелых – Линия 198/225-2020 (37.4 ц/га), Лютеценс 176/09 (37.6 ц/га), Линия Чт-11 (40.7 ц/га), Линия Пт-235 (39.0 ц/га), Линия Пт-311 (42.4 ц/га),

² Официальный бюллетень № 10 (260). ФГБУ «Госсорткомиссия»; 2023 [обновлено 02 января 2023; процитировано 02 января 2023]. Доступно: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04/260.pdf>

Лютесценс 76-17 (40.0 ц/га); среди среднепоздних и позднеспелых – Линия 2/03-09-3 (42.2 ц/га), KS 60/09-9 (41.6 ц/га), KS 61/09-4 (45.5 ц/га), KS 285/12-1586 (42.7 ц/га), Лютесценс 1462 (51.2 ц/га), Лютесценс 1486 (49.7 ц/га), Линия 1616ae14 (44.0 ц/га).

Выделены продуктивные селекционные линии с высокой и средней устойчивостью к бурой ржавчине, мучнистой росе и пыльной головне: Линия Пт-311, Лютесценс 1462, Лютесценс 1486, Лютесценс 1356, Линия 1616ae14. Образцы из питомника КАСИБ-22 позволяют расширить генетическое разнообразие яровой мягкой пшеницы благодаря отбору наиболее устойчивых к местным популяциям возбудителей форм *Puccinia tritici* E., *Erysiphe graminis* DC. и *Ustilago tritici* (Pers.) Jensen.

Список литературы / References

- Белан И.А., Россеева Л.П., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Першина Л.А., Трубачеева Н.В. Создание сортов мягкой пшеницы, устойчивых к грибным заболеваниям, для условий Западной Сибири и Урала. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017;1(147):5-14. DOI 10.30906/1999-5636-2020-6-3-8. [Belan I.A., Rosseeva L.P., Meshkova L.V., Blokhina N.P., Pershina L.A., Trubacheeva N.V. Development of soft wheat varieties resistant to fungal diseases for West Siberia and the Urals. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2017;1(147):5-14. DOI 10.30906/1999-5636-2020-6-3-8. (in Russian)]
- Белан И.А., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Григорьев Ю.П., Мухина Я.В., Трубачеева Н.В., Першина Л.А. Ресурсный потенциал сортов пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(4):449-465. DOI 10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465. [Belan I.A., Rosseeva L.P., Blokhina N.P., Grigoriev Yu.P., Mukhina Y.V., Trubacheeva N.V., Pershina L.A. Resource potential of soft spring wheat varieties for the conditions of Western Siberia and Omsk region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(4):449-465. DOI 10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465. (in Russian)]
- Доброзрак Т.Л. Сельскохозяйственная фитопатология. Л.: Колос, 1974. [Dobrozrakova T.L. Agricultural phytopathology. Leningrad: Kolos Publ., 1974. (in Russian)]
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979:242-356. [Dospikhov B.A. Methods of field experience. Moscow: Kolos Publ., 1979:242-356. (in Russian)]
- Койшыбаев М., Муминджанов Х. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), 2016. [Koishybaev M., Mumindzhanov H. Methodological guidelines for monitoring diseases, pests and weeds on grain crops. Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. (in Russian)]
- Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), 2018:3-42. [Koishybaev M. Diseases of wheat. Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018:3-42. (in Russian)]
- Леонтьев С.И. Основные параметры моделей сортов яровой пшеницы интенсивного типа для степи и южной лесостепи Западной Сибири. Омск: ОмСХИ, 1980. [Leontiev S.I. The main parameters of models of spring wheat varieties of intensive type for the steppe and southern forest-steppe of Western Siberia. Omsk: OmSKHI Publ., 1980. (in Russian)]
- Лихенко И.Е., Советов В.В., Артемова Г.В., Агеева Е.В., Капко Т.Н. Результаты селекции яровой мягкой пшеницы в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН. *Достижения науки и техники АПК*. 2021; 35(10):5-10. DOI 10.53859/02352451_2021_35_10_5. [Lihenko I.E., Sovetov V.V., Artemova G.V., Ageeva E.V., Kapko T.N. Results of breeding spring common wheat at the Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021;35(10):5-10. DOI 10.53859/02352451_2021_35_10_5. (in Russian)]
- Никитина В.И. Зависимость продолжительности вегетационного периода сортов яровой мягкой пшеницы от пункта возделывания. *Вестник КрасГАУ*. 2019;5(146):43-49. [Nikitina V.I. The dependence of the duration of vegetation period of spring soft wheat from the place of its cultivation. *Bulletin of KrasSAU*. 2019;5(146):43-49. (in Russian)]
- Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головне в условиях лесостепи Западной Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524. [Orlova E.A., Baechtold N.P. Characteristics of the gene pool of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to loose smut in the forest-steppe of Western Siberia. *Vavilovskiy Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524. (in Russian)]
- Сергеева И.В., Гусакова Н.Н., Андриянова Ю.М., Мохонько Ю.М. Совершенствование технологий возделывания яровой пшеницы для устойчивого развития сельского хозяйства Поволжского региона. *Аграрный научный журнал*. 2020;10:59-65. DOI 10.28983/asj.y2020i10pp59-65. [Sergeeva I.V., Gusakova N.N., Andryanova Y.M., Mokhonko Y.M. Improvement of spring wheat cultivation technologies for sustainable development of agriculture in the Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;10:59-65. DOI 10.28983/asj.y2020i10pp 59-65. (in Russian)]
- Танский В.И., Долженко В.И., Гончаров Н.Р., Ишкова Т.И. Защита зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков в Нечерноземной зоне России. СПб.: ВИЗР, 2004. [Tansky V.I., Dolzhenko V.I., Goncharov N.R., Ishkova T.I. Protection of grain crops from pests, diseases and weeds in the Non-Chernozem zone of Russia. St. Petersburg: VIZR Publ., 2004. (in Russian)]
- Шаманин В.П., Потоцкая И.В. Иммунологическая оценка сортов яровой мягкой пшеницы селекционного питомника КАСИБ. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016;2(22): 5-10. [Shamanin V.P., Pototskaya I.V. Immunological assessment of varieties of spring soft wheat of the KASIB breeding nursery. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2016;2(22):5-10. (in Russian)]
- Шаманин В.П., Чурсин А.С. Оценка сортов и линий Казахстано-Сибирского питомника и создание исходного материала для селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2008; 1(49): 11-16. [Shamanin V.P., Chursin A.S. Evaluation of varieties and lines of Kazakhstan-Siberian seed plot and creation of base line for selection in the conditions of southern forest steppe in West Siberia. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2008;1(49):11-16. (in Russian)]
- Шутко А.П., Тутуржанс Л.В. Фитосанитарная диагностика болезней растений. Ставрополь: АГРУС, 2018. [Shutko A.P., Tuturzhan L.V. Phytosanitary diagnostics of plant diseases. Stavropol: AGRUS Publ., 2018. (in Russian)]
- Ысқақова Г.Ш., Мәуленбай А.Д., Курымбаева Н.Д., Асрабаева А.М., Байгутов М.Ж., Рсалиев А.С. Устойчивость новых сортообразцов яровой мягкой и твердой пшеницы к листовостебельным болезням. *Биобезопасность и Биотехнология*. 2021;8:55-62. [Iskakova G.Sh., Maulenbay A.D., Kurymbaeva N.D., Asraubaeva A.M., Baygutov M.J., Rsaliev A.S. Resistance of new varieties of spring bread and durum wheat to foliar and stem diseases. *Biosafety and Biotechnology*. 2021;8:55-62. (in Russian)]
- Eversmeyer M.G., Kramer C.L. Epidemiology of wheat leaf and stem rust in the Central Great Plains of the USA. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2000; 38:491-513. DOI 10.1146/annurev.phyto.38.1.491.
- Gulyaeva E., Shaydayuk E., Rsaliev A. Identification of leaf rust resistance genes in spring soft wheat samples developed in Russia and

- Kazakhstan. *Plant Prot. News*. 2019;3:41-49. DOI 10.31993/2308-6459-2019-3(101)-41-49.
- Magomedov I.A., Dzhabrailov Z.A., Bagov M.A. Subsistence agriculture and Global Warming. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2021;677: 032109. DOI 10.1088/1755-1315/677/3/032109.
- Morgounov A., Pozherukova V., Kolmer J., Gulyaeva E., Abugalieva A., Chudinov V., Kuzmin O., Rasheed A., Rsybmetov A., Shepelev S., Ydyrys A., Yessimbekova M., Shamanin V. Genetic basis of spring wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina*) in Kazakhstan and Russia. *Euphytica*. 2020;216:170. DOI 10.1007/s10681-020-02701-y.
- Morgounov A., Rosseeva L., Koyshibayev M. Leaf rust of spring wheat in Northern Kazakhstan and Siberia: incidence, virulence, and breeding for resistance. *Aust. J. Agric. Res.* 2007;58(9):847-853. DOI 10.1071/AR07086.
- Morgounov A., Savin T., Flis P., Babkenov A., Chudinov V., Kazak A., Koksels H., Likhenko I., Sharma R., Shelaeva T., Shepelev S., Shreyder E., Shamanin V. Effects of environments and cultivars on grain ionome of spring wheat grown in Kazakhstan and Russia. *Crop Pasture Sci.* 2022;73(5):515-527. DOI 10.1071/CP21493.
- Nicolas M.E., Gleadow R., Dalling M.J. Effects of drought and high temperature on grain growth in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 1984;11(6): 553-566. DOI 10.1071/PP9840553.
- Simeone R., Piarulli L., Nigro D., Signorile M.A., Blanco E., Mangini G., Blanco A. Mapping powdery mildew (*Blumeria graminis f. sp. tritici*) resistance in wild and cultivated tetraploid wheats. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(21):7910. DOI 10.3390/ijms21217910.
- Soroush F., Ehteram M., Seifi A. Uncertainty and spatial analysis in wheat yield prediction based on robust inclusive multiple models. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022. DOI 10.1007/s11356-022-23653-x.
- Vannoppen A., Gobin A. Estimating farm wheat yields from NDVI and meteorological data. *Agronomy*. 2021;11(5):946. DOI 10.3390/agronomy11050946.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.01.2023. После доработки 06.02.2023. Принята к публикации 08.02.2023.