

S.Zh Kazybaeva*, Zh.K. Kadirisizova, S.P. Alekseenko, B.T. Kasenova
LLP "Kazakh Scientific Research Institute of Fruit, Vegetable and Viticulture", Almaty city,
Kazakhstan, saule_5_67@mail.ru*, zhanara78kz@mail.ru, fatina1964@mail.ru,
bahutkas@gmail.com

PRODUCTIVITY POTENTIAL OF DOMESTIC APPLE VARIETIES OF KAZAKHSTAN BREEDING UNDER CONDITIONS OF ALMATY REGION

Abstract

The article presents the general results of studies of 15 varieties of apple trees of Kazakhstan selection, which was carried out on the basis of «KazNIPO» LLP of Talgar district in the Regional branch of Talgar. The purpose of the work is to identify the most valuable traits for further use in breeding based on the study of the biological potential of productivity of apple varieties. The objects of research are varieties of Kazakh breeding created at the Kazakh Scientific Research Institute of Fruit and Vegetable Growing. To achieve the required level of fruit production, scientists, together with producers, need to solve a number of problems, among which the most important is the optimization of the assortment of fruit and berry crops by creating new competitive varieties that meet all modern requirements for intensive gardening. This experience includes both new varieties of apple trees included in the State Register, and new promising varieties of Kazakhstani selection. When studying, most of the new promising varieties have complex resistance to powdery mildew and scab. The varieties Anel, Egemen, Aizhan, Makpal, Maksat, Aizere, Nursat, Gift Nurtazina, Koktobe were distinguished by yield, the yield of these varieties is 190-260 c/ha. This article presents data from the study of the size of the fruit, taste, attractiveness and economically valuable features of the fruit. As a result of research, Anel, Aizhan, Asyl-Ayim, Nazgum, Damira, Egemen, Gift Nurtazina, Nursat, Maksat varieties resistant and immune to powdery mildew and scab were isolated from 15 apple varieties. Apple varieties Aizere, Anel, Aizhan, Danalyk, Dauren, Kamila, Egemen Maksat, Nursat, Gift Nurtazina, Koktobe, Nazgum are allocated to indicators of fertility, productivity, commodity and consumer quality of fruits. It is recommended to involve these varieties in selection processes as the basis of valuable traits.

Key words: apple, variety, winter hardiness, resistance to fungal diseases, early maturity, yield, quality, taste.

МРНТИ 68.37.31; 34.15.23

DOI <https://doi.org/10.37884/2-2023/09>

М.Т. Кумарбаева, А.М. Кохметова, Ж.С. Кеишилов, А.А. Малышева, А.А. Болатбекова*

*Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан,
madina_kumar90@mail.ru*, gen_kalma@mail.ru, Jeka-Sayko@mail.ru, kanat1499@gmail.com,
ardashka1984@mail.ru*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЕ (PUCCINIA STRIIFORMIS WESTEND F. SP. TRITICI) ПШЕНИЦЫ В КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМЫХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация

Болезни сельскохозяйственных культур оказывают значительное влияние на урожайность и качество сельскохозяйственных культур во всем мире. На протяжении десятилетий угрозы со стороны болезней и вредителей сельскохозяйственных культур становятся все более серьезными в контексте глобального изменения климата, что создает проблему для нашего производства продуктов питания. В последние годы отмечаются нарастающее распространение и вредоносность желтой ржавчины в Казахстане. Большинство коммерческих сортов пшеницы, выращиваемых в настоящее время в Казахстане, по-прежнему

восприимчивы к ржавчинным заболеваниям. Целью исследования является мониторинг развития желтой ржавчины и идентификация новых источников устойчивости к *Puccinia striiformis* Westend f. sp. *tritici* с использованием современных генетико-селекционных методов. По результатам мониторинга распространение и развитие желтой ржавчины было на среднем уровне (48-52%). Фитопатологический скрининг выявил 57 образцов озимой пшеницы (76,0 %) с иммунным типом реакции к желтой ржавчине. Идентифицированы 22 перспективных образца, которые проявили устойчивый и умеренно-устойчивый тип реакции к болезням и характеризуются присутствием нескольких генов устойчивости. По результатам этого исследования отобранные перспективные линии озимой пшеницы представляют интерес для программы селекции пшеницы на устойчивость к желтой ржавчине.

Ключевые слова: пшеница, желтая ржавчина, сорт, линия, устойчивость, фитопатологический скрининг, мониторинг, индекс биомассы.

Введение

Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из наиболее важных основных сельскохозяйственных культур, мировой спрос на которую, по прогнозам, увеличится до 324 кг в год (на душу населения) к 2050 году [1]. Производство пшеницы сталкивается с многочисленными угрозами: по оценкам, 10–16% мировых урожаев пшеницы теряется из-за вредителей и болезней. В Казахстане наибольший вред пшенице наносит желтая, бурая и стеблевая ржавчина, твердая головня и болезни листовых пятнистостей (пиренофороз, септориоз) [2-10]. В последние десятилетия желтая ржавчина (YR), также известная как полосатая ржавчина, является основным заболеванием пшеницы, вызываемым биотрофным грибковым патогеном *Puccinia striiformis* Westend f. sp. *tritici* (*Pst*). Поражение пшеницы YR чаще всего отмечается на листьях пшеницы, где возникающее в результате повреждение фотосинтетических тканей приводит к снижению светоперехвата и эффективности использования излучения, что снижает урожайность. Тем не менее, YR-инфекция может также поражать структуры колоса пшеницы, такие как колосковые чешуи, цветковые чешуи и верхние чешуи, особенно во время умеренных и тяжелых эпидемий, что приводит к снижению урожайности и качества зерна [11, 12]. Повторяющиеся эпидемии *Pst* происходили в большинстве районов выращивания пшеницы за последние 60 лет и могут привести к значительным потерям урожая и снижению качества зерна, если их не контролировать должным образом [13]. Примечательно, что за последние два десятилетия произошло быстрое глобальное появление более агрессивных и генетически разнообразных популяций *Pst*, адаптированных к более высоким температурам [14, 15], с сопутствующим влиянием на YR. оценки устойчивости многих сортов пшеницы. Селекционные объекты устойчивости к YR должны были адаптироваться к быстро меняющейся угрозе *Pst*, и постоянно ведется поиск источников генетической устойчивости для создания улучшенных сортов пшеницы. В настоящее время этому способствуют достижения в подходах к геномике пшеницы, а также детальная характеристика патотипов популяции *Pst*, генетического разнообразия, характеристики эффекторов и полевого мониторинга. В конечном счете, эффективная борьба с грибковыми заболеваниями пшеницы будет осуществляться с помощью подходов, сочетающих сельскохозяйственные и агротехнические методы, мониторинг заболеваний и сортовое генетическое улучшение [16].

Желтая ржавчина представляет серьезную угрозу для продовольственной безопасности многих стран планеты. Она распространена на большей части территории Северной и Южной Америки, и Европы, Восточной, Центральной и Южной Азии, Северной Африки, Австралии. По климатическим условиям 72% площадей посевов пшеницы подходит для её развития, стабильно проявляется на 42% [16, с. 35]. В Казахстане желтая ржавчина распространена в предгорной и горной зонах южного и юго-восточного регионов, где в основном возделывают озимую пшеницу. Распространение и развитие зависит от погодных условий, в период обильных осадков. Эпифитотийное развитие болезни происходило в 2000 и 2002 гг., умеренное развитие болезни в 2003, 2006 и 2009 г.г [16, с. 36].

К настоящему времени идентифицировано более 80 генов устойчивости к желтой ржавчине. Большинство из этих генов являются доминантными, расоспецифичными и, следовательно, не обеспечивают длительную устойчивость. Поэтому идентификация новых источников устойчивости у сорта имеет приоритетное значение для эффективной борьбы с болезнью. Разнообразие *Yr* генов в коммерческих сортах играет важную роль в борьбе с частыми эпидемиями желтой ржавчины в регионе. В исследованиях Кохметова и др. (2010) показано, что наиболее эффективными генами устойчивости к желтой ржавчине в Казахстане являются *Yr2+*, *Yr4+*, *Yr5*, *Yr10* и *Yr15* [17].

В настоящее время в Казахстане отмечается рост заболеваемости и усиление поражения пшеницы желтой ржавчиной. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки генетически разнообразных источников устойчивости, доноров и перспективных линий пшеницы, которые можно использовать в селекции устойчивых сортов. Главной задачей настоящего исследования является выявление генотипов пшеницы, устойчивых к желтой ржавчине.

Методы и материалы

Объектами исследования являются коммерческие сорта и перспективные линии озимой пшеницы, возделываемые или являющиеся кандидатами в новые сорта.

Экспериментальный материал был фенотипирован в течение вегетационных периодов 2021 и 2022 годов в Казахском НИИ земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР), п. Алмалыбак (N 43°14'333" E 076°41'657" B783) Алматинской области. Эксперименты были выполнены в трех повторностях. Размер индивидуального участка составлял 1 м². Методы обработки и управления удобрениями соответствовали тем, которые часто рекомендуются для данной местности. Удобрения составляли 60 и 30 кг/га азота и оксида фосфора соответственно. Опытные растения высаживали в середине сентября во все годы, а урожай собирали в середине августа. Орошаемая предгорная зона, где расположен КазНИИЗиР, является относительно хорошо обводненной; опытные материалы за время их развития поливали 3 раза из расчета 600 м³/га и очищали от сорняков.

Погодные условия в 2022 г. были более благоприятны для развития бурой ржавчины, чем в 2021 г. (<http://weatherarchive.ru>). В мае количество осадков превысило норму, что привело к повышению влажности окружающей среды и способствовало эффективному заражению растений спорами *Puccinia striiformis*.

Таблица 1 – Метеорологические данные по средней температуре и осадкам за вегетационный период на полях КазНИИЗиР за 2021-2022 гг.

Год	Месяц	Температура (°C)	Месячное количество осадков (мм)	Средняя относительная влажность (%)
2021	Апрель	12,5	54	50
	Май	19,5	70	51
	Июнь	23,0	20	38
2022	Апрель	16,7	45	54
	Май	19,0	142	65
	Июнь	24,3	36	49

Для оценки бурой и желтой ржавчины была использована шкала Петерсона (рисунок 1) [18]. Оценка симптомов бурой и желтой ржавчины проведена в соответствии с методом, разработанным в СИММУТ, по 5-ти инфекционным типам (IT): 0 - иммунная; R - устойчивая; MR – умеренно-устойчивый; MS – умеренно-восприимчивый; S – восприимчивый.

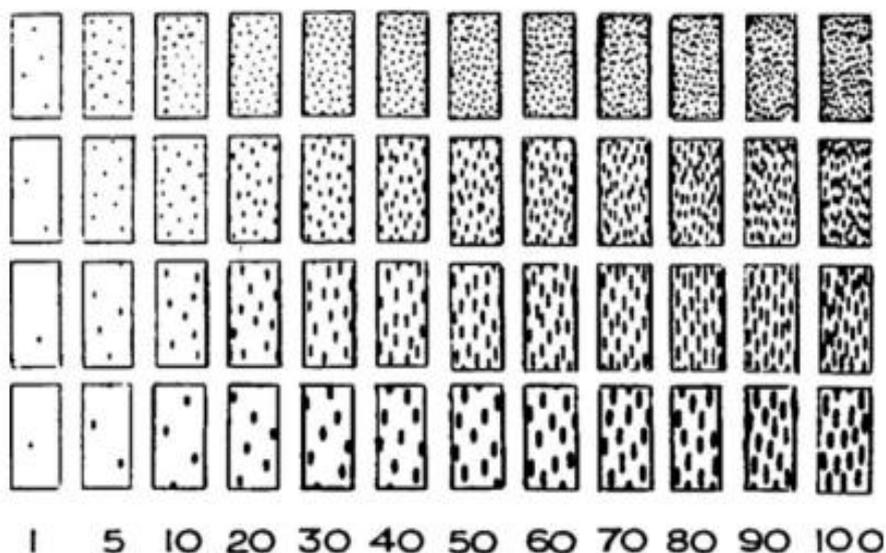


Рисунок 1 – Шкала Петерсона для определения степени поражения листьев бурой и желтой ржавчиной

Методы молекулярного скрининга *Yr*-генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине. Экстракция геномной ДНК произведена по методике, предложенной Riede et al., 1996. ДНК выделяли из 5-дневных проростков пшеницы для каждого отдельного образца на основе СТАВ метода [19]. Определение концентрации ДНК проведено спектрофотометрическим методом на длине волны 260 нм. Концентрация ДНК в рабочем растворе для ПЦР доведена до 20 нг/мкл. Реакционная смесь для ПЦР (25 μ l) содержала 2,5 мкл геномной ДНК, по 1 мкл каждого праймера (1 pM/ μ l) (SigmaAldrich, США), 2,5 μ l смеси dNTP (2,5 мМ, dCTP, dGTP, dTTP и dATP) (ЗАО «Силекс», Россия), 2,5 мкл MgCl₂ (25 мМ), 0,2 μ l Taq-полимеразы (5 ед. в μ l) (ЗАО «Силекс», Россия), 2,5 μ l 10X буфера для ПЦР и 12,8 мкл ddH₂O. ПЦР-амплификацию проводили на амплификаторе Mastercycler (Eppendorf, Германия). Продукты амплификации разделяли в 2% агарозном геле в буфере TBE (45 мМ Трис-борат, 1 мМ ЭДТА, рН 8) [20] с добавлением бромистого этидия. Для определения длины фрагмента амплификации использовали 100-bp ДНК – маркер (Fermentas, Литва). Результаты визуализировали с помощью системы документации гелей (Gel Doc XR+, BIO-RAD, Hercules, США).

Концентрация выделенных образцов ДНК проверена в 1%-ном агарозном геле в сравнении со стандартной ДНК, окрашивание производили бромитсым этидием. Вторичный контроль на чистоту и качество проведен на спектрофотометре SmartSpecTMPlus (Bio-RAD). Концентрация образцов унифицирована до уровня 20 ng/ μ l для последующего проведения ПЦР. В результате работы подготовлено 100 чистых проб ДНК, полученных от перспективных линий мягкой пшеницы. Концентрация проб ДНК унифицирована до значения 20 ng/ μ l.

На основе анализа международной базы данных GrainGenes, MASWheat, KOMUGI произведен подбор молекулярных маркеров, сцепленных с генами устойчивости к желтой ржавчине. Проведены ПЦР анализы для идентификации носителей генов устойчивости к желтой ржавчине.

Определение индекса биомассы растений (NDVI – Normalized Difference Vegetative Index) осуществляли с использованием портативного прибора Green Seeker (Trimble Navigation Limited, USA). Индекс NDVI варьирует в пределах от 0.00 до 1.0; чем выше показатель, тем выше устойчивость к болезням. NDVI вычисляется по формуле:

$$NDVI = (NIR-VIS)/(NIR+VIS) \quad (1)$$

где VIS и NIR являются спектральными коэффициентами отражения лучей света в красном и инфракрасном диапазоне, соответственно. Исследования показали, что индекс NDVI непосредственно связан с фотосинтетической способностью и, следовательно, с поглощением энергии растительного покрова. Принцип работы датчика Green Seeker заключается в его способности излучать короткие импульсы красного и инфракрасного света на растения, а затем производить замер величины отраженного излучения. Чем выше значение индекса, тем выше продуктивность и устойчивость к болезням, и тем ниже потребность в азотном питании.

Результаты и обсуждение

В 2022 году проведены маршрутные исследования по мониторингу желтой ржавчины в Карасайском, Талгарском и Жамбылском районах, Алматинской области, которые выявили различную распространенность и степень зараженности желтой ржавчиной *P. striiformis* пшеницы в зависимости от района. В сельском округе Алмалыбак, Карасайского района установлено, что самый высокий уровень распространения (86%) обнаружен у сорта пшеницы Казахстанская 10 (индекс поражения 9,9%). В Жамбылской области, Узынагашском сельском округе симптомы болезни обнаружены у сортов Бразильская элита и Австрийский 100, распространенность заболевания составила 52% и 48%, а уровень развития – 3,1% и 2,8%. В этом же районе, сорта Австрийская Грань и Бразильская озимая проявили восприимчивость к болезни, показатели пораженности у этих сортов – 2,2%, а уровень распространения – 42%.

Проведены фенологические наблюдения перспективных линий и сортов пшеницы. Анализ данных, полученных в результате фенологических наблюдений 2022 г. показал, что фаза колошения образцов наступала в период 10-26 мая. В результате фенологических наблюдений выявленные образцы проявили себя среднеспелыми, количество дней до колошения (ДДК) варьировало в пределах 214-230 дней. По уровню ДДК между сортом Акбидай (214 дней) и линиями №250. д.1768Опакс-70 х д.307 Fleming; №273. д.1010(д.93F3(N23 х Купава) х Мереке); №335. TAM105/3/NE70654/BBY//BOW"S"/4/CENTURE*3/TA2450/5/TX71A1039.V1*3/AMI/BUC /CHRC/6/ZARGANA-3/6/BONITO-36 (230 дня) наблюдалась средняя разница в 16 дней.

По высоте растений образцы характеризовались широким спектром варьирования: от 70 до 145 см. Сорта и линии были сгруппированы в 3 группы: в первую группу вошли 12 образцов (16%) высота которых составила от 70 до 89 см; во вторую группу вошли 27 образцов (36%) высота у них варьировала в пределах от 90 до 109 см; в третью группу отнесены 36 образцов (48%) и перспективных линий с высотой растений от 110 см до 145 см. Самыми высокорослыми (130-145 см) проявили себе следующие образцы и перспективные линии: Акмола 3, Батыр, Саратовская 29, Саратовская 42, Саратовская 55, №228. д.1770 Рамин х №1736 F11594 (F1д.1013(д.97 F3(N20 х Уманка) х Егемен) х Brundage 96 х д.23 Brundage 96 APR, Шортандинская 2012 и Целинная 90.

Проведены полевые наблюдения по фитопатологической оценке на устойчивость к желтой ржавчине (рисунок 2). По результатам фитопатологического скрининга на устойчивость к желтой ржавчине образцы были сгруппированы в 3 группы: иммунные (I), устойчивые (10MR) и умеренно-восприимчивые (5-30MS).

Были идентифицированы 57 образцов (76,0 %) у которых не были обнаружены симптомы желтой ржавчины. К ним относятся сорта Акбидай, Акдан, Алатау, Алмалы, Алихан, Алия, Анара, Батыр, Баянды, Bogarнауа 56, Ботагоз, Булава, Дербес, Егемен, Фараби, Карасай, Карасай, Карлыгаш, Керемет, Кокбидай, Коксу, Кондитерская, Кызылбидай, Маншук, Майра, Мереке 70, Мироновская 808, Наз, Нуреке, Одеская 120, Прогресс, Рамин. Сорта Реке и Акмола 3 проявили устойчивый тип реакции с оценкой 10MR. Шестнадцать образцов проявили умеренно-устойчивый тип реакции, с поражением листьев пшеницы в 5-30MS.

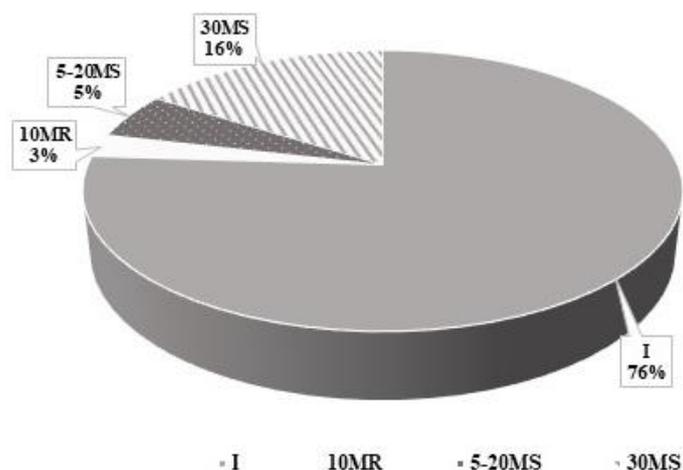
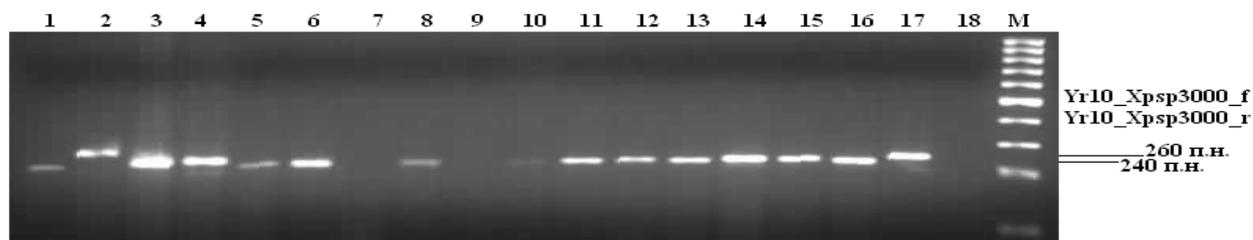


Рисунок 2 – Фитопатологический скрининг образцов пшеницы на устойчивость к желтой ржавчине *Puccinia striiformis f.sp. tritici*

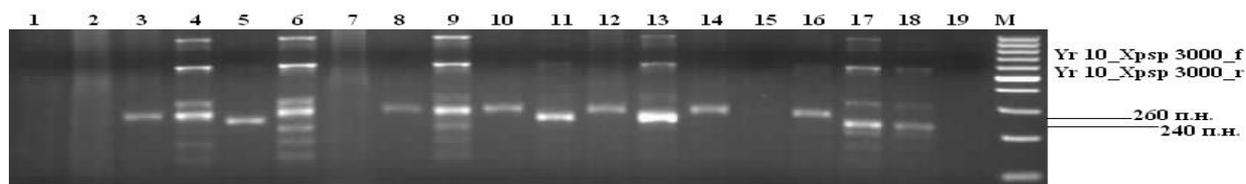
Проведены ПЦР анализы для идентификации носителей генов устойчивости к желтой ржавчине. Для идентификации носителей генов устойчивости, содержащий ген *Yr10* был использован SSR маркер *Xp3000F/R*. На рисунке 3 представлены результаты ПЦР-амплификации с использованием SSR маркера *Xp3000F/R*, где из сорта Акдан и у контроля был обнаружен ожидаемый размер 260 п.н. Остальные 15 образцов показали 240 п.н, что свидетельствует о наличии рецессивного гена *Yr10*.



1-Алатау, 2-Акдән, 3-Алия, 4-Ажарлы, 5-Ақбидай, 6-Богарная 56, 7-Безостая 1, 8-Батыр, 9-Бермет, 10-Ботагәз, 11-Сапалы, 12-Диана, 13-Динара, 14-Егемен 20, 15-Егемен, 16-Фараби, 17-Үр 10, 18-ddH₂O, М- маркер молекулярного веса (Gene – Ruler 100 bp DNA Ladder).

Рисунок 3 – Продукты амплификации ДНК образцов озимой пшеницы с использованием праймеров к локусу *Xp3000*, сцепленному с геном *Yr10*

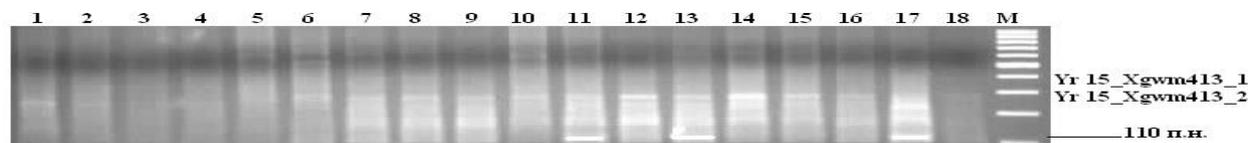
На рисунке 4 представлен ПЦР-анализ идентификации гена *Yr10*, ожидаемый продукт амплификации размером 260 п.н. выявлен у 9 сортов яровой пшеницы (Астана, Шортанды, Акмола 2, Акмола 40, Актобе 14, Актобе 39, Актобе 130, Казахстанская 7, Казахстанская 25) и у изогенной линии *Yr10*. Остальные 5 образцов показали ПЦР-продукт размером 240 п.н. и не являются носителями гена *Yr10*.



1-Астана 2, 2-Астана, 3-Астана Шортанды, 4-Акмола 2, 5-Акмола 3, 6-Акмола 40, 7-Актобе 10, 8-Актобе 14, 9-Актобе 39, 10-Актобе 130, 11-Казахстанская раннеспелая, 12-Казахстанская 7, 13-Казахстан 12, 14-Казахстанская 25, 15-Казахстан 75, 16-Үр 10, 17-Наз, 18-Акдән, 19-ddH₂O, М- Маркер молекулярного веса (Gene-Ruler 100bp DNA Ladder).

Рисунок 4 – Продукты амплификации ДНК образцов озимой пшеницы с использованием праймеров к локусу *Xp3000*, сцепленному с геном *Yr10*

Для поиска носителей к желтой ржавчине с геном *Yr15* использован SSR маркер *Xgwm 413_1_2*, ожидаемый фрагмент для устойчивого аллеля составил 110 п.н. При использовании для ПЦР праймеров (*Yr 15_Xgwm 413_1_2*) у 2 образцов (Расад, Реке) отмечено наличие продукта амплификации размером 110 п.н. Продукты амплификации отсутствовали у 12 образцов пшеницы (рисунок 5).



1-Княжна, 2-Қараспан, 3-Қарлығаш, 4-Қарабалықская озимая, 5-Казахстан 10, 6-Майра, 7-Прогресс, 8-Президент, 9-Раминал, 10-Рамин, 11-Расад, 12-Раусин, 13-Реке, 14-Жалын, 15-Жетысу, 16-Южная 12,17-Үр 15, 18- ddH₂O

Рисунок 5 – Продукты амплификации ДНК образцов озимой пшеницы с использованием праймеров к локусу *Xgwm 413*, сцепленному с геном *Yr15*

Осуществлена оценка индекса биомассы NDVI, Normalized Difference Vegetative Index. В таблице 2 представлены образцы, которые были распределены в 3 группы по значению индекса биомассы NDVI. В первую группу отнесены 19 образцов (25,33%) с индексом биомассы 0,6-0,65, тогда как во вторую группу со средним значением NDVI 0,66-0,74 отмечены 44 образца (58,67%) и перспективных линий, 12 образцов (16%) выделены как с высоким значением индекса биомассы (>0,75) и вошли в третью группу (таблица 2).

Таблица 2 – Оценка индекса биомассы NDVI образцов пшеницы

Среднее значение NDVI	Частота встречаемости, %	Названия и номера образцов
0,6-0,65	25,33	Булава, Дербес, Фараби, Керемет, Кокбидай, Коксу, Кондитерская, Маншук, Майра, Мироновская 808, Нуреке, Одеская 120, Прогресс, Рамин, Saratovskaya 29, Saratovskaya 42, Saratovskaya 55, Celinnaya 26, №336, №341.
0,66-0,74	58,67	Akbiday, Aқдан, Алатау, Алмалы, Алихан, Алия, Анара, Батыр, Баянды, Bogarnaya 56, Ботагоз, Егемен, Карасай, Карасай, Карлығаш, Кызылбидай, Мереке 70, Наз, Реке, Сапалы, Steklovidnaya 24, Таза, Тунгыш, Karagala 9, Omskaya 18, Омская 29, Pamyati Azieva, Samgay, Ygo-Vostochnaya 2, Шортандинская 2012, Целинная 90, Акмола 3, Алмалы/Obri, Yr2/Octyabrina, №218, №228, №239, №245, №248, №337, №338.
0,75-0,8	16,00	Султан 2, №225. д.179-КВ-ИББР-2012х д.1760 9-ICARDA-IPBB-2013; №229. д.1777 Дарья х №1724 F11581 х (д.807 F4 (Наз х Уманка) х Алмалы) х Зимородок, №78 х д.42 Алмалы; №246. д.1046DALNITSKAYA/4/AGRI/NAC//KAUZ/3/1D13.1/MLT/5/F10S-1//ATAY/GALVEZ87 х №1740 F1д.1017 д.103 F3(N91 х 5353) х Buck Buck (Lr16, slow rust.) <Sr according to Rsaliev №234 х д.306 Sisson, №250. д.1768Опакс-70 х д.307 Fleming, №258. F3587 Morocco х №41 Октябрина х д.46 Княжна, №273. д.1010(д.93F3(N23 х Купава) х Мереке), №335. TAM105/3/NE70654/BBY//BOW"S"/4/CENTURE*3/TA2450/5/ TX71A1039.V1*3/AMI/BUC/CHRC/6/ZARGANA-3/6/BONITO-36, №345. SAULESKU #26/PARUS//F885K1.1/SXL/3/BEZOSTAYA1, №346. TREGO/BTY SIB//ZARGANA-6/4/AU/CO652337//2*CA8-155/3/..., №347. TREGO/JGR 8W/4/AGRI/NAC//KAUZ/3/1D13.1/MLT/5/F10S-1//.

По результатам проведенного корреляционного анализа с использованием программного обеспечения R-studio, была выявлена положительная и отрицательная корреляции между различными группами признаков (таблица 3, рисунок 6).

Таблица 3 – Корреляционный анализ отобранных образцов по признакам продуктивности растений, реакции к ржавчинным и листо-стеблевым заболеваниям

Признак	SL	SS	KS	KWS	TKW	PP	DTH	PH	NDVI	YR	LR	Ptr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SL	1	0,54** *	0,42***	0,34**	-0,01 ns	0,34**	-0,1 ns	0,21 ns	0,25*	0,13 ns	-0,07 ns	- 0,02 ns
SS	0,54***	1	0,58***	0,32**	-0,2 ns	0,31**	- 0,33**	0,17 ns	0,27*	0,2 ns	- 0,31**	0,34 **
KS	0,42***	0,58** *	1	0,64** *	-0,18 ns	0,65***	0,05 ns	-0,09 ns	0,14 ns	-0,17 ns	-0,25*	0,15 ns
KWS	0,34**	0,32**	0,64***	1	0,63** *	0,99***	0,19 ns	-0,11 ns	-0,13 ns	-0,17 ns	0,17 ns	- 0,01 ns
TKW	-0,01 ns	-0,2 ns	-0,18 ns	0,63** *	1	0,62***	0,21 ns	-0,06 ns	-0,29*	-0,11 ns	0,47** *	- 0,14 ns
PP	0,34**	0,31**	0,65***	0,99** *	0,62** *	1	0,2 ns	-0,12 ns	-0,12 ns	-0,12 ns	0,16 ns	- 0,01 ns
DTH	-0,1 ns	- 0,33**	0,05 ns	0,19 ns	0,21 ns	0,2 ns	1	- 0,53** *	0,17 ns	- 0,47** *	-0,05 ns	0,01 ns
PH	0,21 ns	0,17 ns	-0,09 ns	-0,11 ns	-0,06 ns	-0,12 ns	- 0,53** *	1	0,05 ns	0,18 ns	0,05 ns	- 0,01 ns
NDVI	0,25*	0,27*	0,14 ns	-0,13 ns	-0,29*	-0,12 ns	0,17 ns	0,05 ns	1	-0,01 ns	- 0,4***	0,32 **
YR	0,13 ns	0,2 ns	-0,17 ns	-0,17 ns	-0,11 ns	-0,12 ns	- 0,47** *	0,18 ns	-0,01 ns	1	0 ns	-0,1 ns
LR	-0,07 ns	- 0,31**	-0,25*	0,17 ns	0,47** *	0,16 ns	-0,05 ns	0,05 ns	-0,4***	0 ns	1	- 0,23 *
Ptr	-0,02 ns	0,34**	0,15 ns	-0,01 ns	-0,14 ns	-0,01 ns	0,01 ns	-0,01 ns	0,32**	-0,1 ns	-0,23*	1

Примечание – *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001; ns – незначимо; YR – желтая ржавчина; LR – бурая ржавчина; Ptr – пиренофороз; NDVI (Normalized difference vegetation index) – нормализованный вегетационный индекс; DTH – дни до колошения; PH – высота растения; SL – длина колоса; SS – количество колосков колоса; KS – количество зерен колоса; KWS – масса зерна колоса; TKW – масс тысячи зерен, PP – продуктивность растения

Была показана достоверная ($p < 0.001$) отрицательная корреляция между значением индекса биомассы растения и степенью восприимчивости к бурой ржавчине, что свидетельствует о снижении фотосинтетической активности растений из-за поражения бурой ржавчиной. Положительная корреляция была отмечена между значением NDVI и такими показателями как длина колоса и количество колосков. Корреляции между анализируемыми заболеваниями выявлено не было.

Степень поражения желтой ржавчиной отрицательно коррелировала ($p < 0.001$) с количеством дней до колошения, что свидетельствует о большей поржаемости раннеспелых сортов пшеницы. Так же была отмечена отрицательная корреляция между значениями поражения коллекции пшеницы пиренофорозом и бурой ржавчиной (рисунок 6).

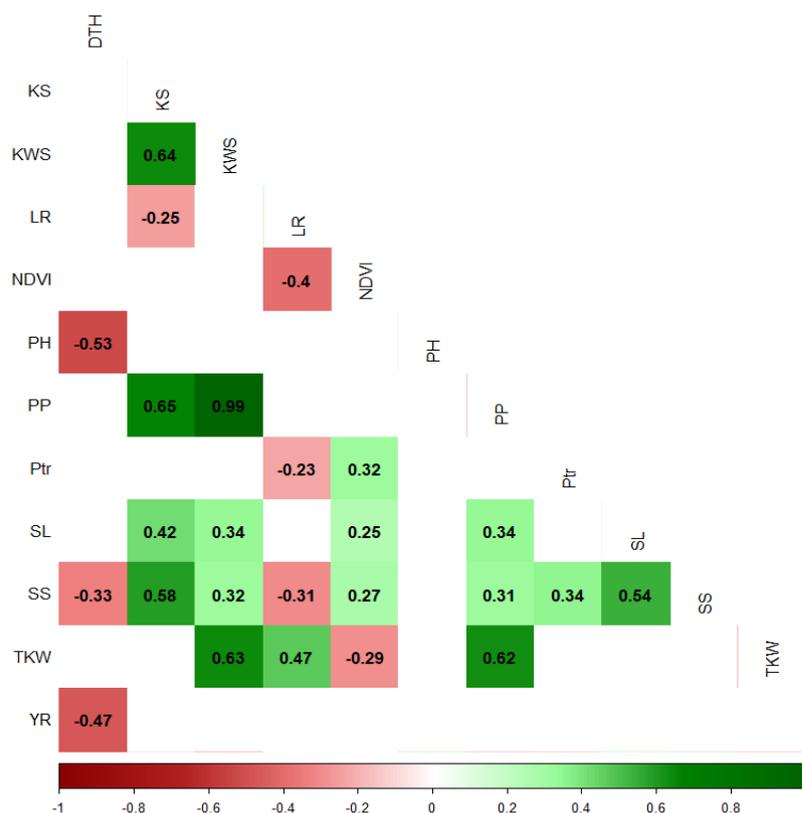


Рисунок 6 – Корреляция между основными показателями продуктивности, индекса биомассы и степени восприимчивости к желтой, бурой ржавчине и пиренофорозу пшеницы.

В ходе статистического анализа ($p < 0.05$) была выявлена положительная корреляция между индексом NDVI и значениями длины колоса и количества колосков. Отрицательная корреляция отмечена между значением высоты растения и количеством дней до колошения; индексом NDVI и реакцией на возбудитель бурой ржавчины *P. triticina*. Положительная корреляция наблюдалась между количеством зерен с колоса и количеством колосков / масса зерна колоса / продуктивность растения / длина колоса. Существенного влияния основных заболеваний пшеницы на такие показатели как масса тысячи зерен и продуктивность растения не выявлено.

Наибольший интерес представляют 22 перспективных образца, которые проявили устойчивый и умеренно-устойчивый тип реакции к болезням и характеризуются присутствием нескольких генов устойчивости. К ним относятся образцы: Акмола 3 (*Yr15*), Акмола 2 (*Yr10*, *Yr15*), Целинная 21 (*Lr34/Yr18*, *Lr26/Yr9*, *Yr10*, *Yr15*), Актобе 14 (*Lr34/Yr18*, *Lr26/Yr9*, *Yr10*, *Yr15*). Из числа отобранных, 5 перспективных линий отличались иммунным типом реакции (IT – 0) к бурой, желтой ржавчине и пиренофорозу в полевых условиях на искусственном инфекционном фоне, а также высокими показателями агрономических признаков: линия №56) TAM105/3/NE70654/BBY//BOW"S"/4/CENTURE*3/TA2450/5/TX71A1039.V1*3/AMI/BUC/CHRC/6/ZARGANA-3/6/BONITO-36; линия №57) TX87V1613/KS91WGRC11//MV18-2000/3/TX71A1039.V1*3/AMI//BUC/CHRC; линия №58) 338-K1-1//ANB/BUC/3/GS50A/4/TX71A1039.V1*3/AMI//BUC/CHRC; линия №59) PASTOR/MILAN/3/F10S-1//STOZHER/KARL и линия №63) TREGO/JGR 8W/4/AGRI/NAC//KAUZ/3/1D13.1/MLT/5/F10S-1//.

Таким образом, в результате комплексных исследований, создана коллекция, включающая 75 образцов и перспективных линий озимой и яровой пшеницы, которые кроме устойчивости к бурой, желтой ржавчине и пиренофорозу, отличаются высокой

продуктивностью. Указанные образцы и линии пшеницы будут включены в селекционный процесс как кандидаты в новые сорта пшеницы.

Выводы

По результатам комплексных исследований, включающих в себя фитопатологический скрининг взрослого растения и проростковой устойчивости, молекулярный скрининг на устойчивость к желтой ржавчине, а также исследования агрономических признаков и полный структурный анализ элементов продуктивности была создана коллекция образцов пшеницы, включающая сорта яровой и озимой пшеницы и перспективные линии. Идентифицированы 22 перспективных образца, которые проявили устойчивый и умеренно-устойчивый тип реакции к болезням и характеризуются присутствием нескольких генов устойчивости. Результаты этого исследования представляют интерес для программы селекции пшеницы на устойчивость к желтой ржавчине.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке программы Министерства Науки и Высшего образования Республики Казахстан, ИРН BR18574099(2) «Идентификация и внедрение новых ДНК-маркеров устойчивости к болезням и продуктивности мягкой пшеницы для ускоренного создания и семеноводства конкурентоспособных и высокопродуктивных сортов» (2023-2024 г.)

Список литературы

- 1 Alexandratos N, Bruinsma J (2012) *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision: ESA Working Paper No. 12-03*. Rome
- 2 Кохметова А.М. Қазақстанда өсірілетін бидай сорттарының пиренофороз *Pyrenophora tritici-repentis* ауруына төзімділігіне фитопатологиялық скрининг жүргізу [Текст]/ Кохметова А.М., Кейшилов Ж.С., Ғалымбек Қ., Кумарбаева М.Т. // «Ізденістер, нәтижелер-Исследования, результаты», –Алматы, 2019. №3. – Б. 213-218.
- 3 Кумарбаева М.Т. Фитопатологический скрининг на устойчивость к пиренофорозу и оценка хозяйственно-ценных признаков образцов озимой мягкой пшеницы [Текст]/ Кумарбаева М.Т., Кохметова А.М., Рсалиев А.С // Изденістер, нәтижелер-Исследования, результаты, –Алматы, 2020. – №2. – С.247-252.
- 4 Кейшилов Ж.С. Күздік бидай коллекциясының пиренофорозға (*Pyrenophora tritici-repentis*) төзімділігін бағалау [Текст]/ Кейшилов Ж.С., Кохметова А.М., Маденова А.К., Кумарбаева М.Т., Жигитбекова А.Д. // «Ізденістер, нәтижелер-Исследования, результаты», – Алматы, 2020. – №2. –Б.128-135.
- 5 Маденова А.К. *Tilletia caries* қатты қара күйеге төзімді Vt-гендері бар бидайдың изогенді линияларының фитопатологиялық скринингі [Текст]/ Маденова А.К., Атишова М.Н., Кохметова А.М., Ғалымбек Қ., Кумарбаева М.Т. // «Ізденістер, нәтижелер». – 2018. – № 4. – Б. 111-116.
- 6 Kokhmetova A. Evaluation of wheat germplasm for resistance to leaf rust (*Puccinia triticina*) and identification the sources of *Lr* resistance genes using molecular markers [Текст]/ Kokhmetova A., Rsaliyev Sh., Atishova M., Kumarbayeva M. (2021). *Plants.*, vol. 10, no. 7, p. 1484. <https://doi.org/10.3390/plants10071484>
- 7 Kokhmetova A. Identification of Stripe Rust Resistance Genes in Common Wheat Cultivars and Breeding Lines from Kazakhstan [Текст]/ Kokhmetova A., Rsaliyev A., Malysheva A., Atishova M. // *Plants.*, (2021). vol. 10, no. 11, p. 2303. <https://doi.org/10.3390/plants10112303>.
- 8 Kokhmetova A. Genome-Wide Association Study of Tan Spot Resistance in a Hexaploid Wheat Collection From Kazakhstan [Текст]/ Kokhmetova A., Sehgal D., Ali S., Atishova M. // *Front. Genet.*, (2021) vol. 11, p. 581214. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.581214>
- 9 Kokhmetova A.M. *Pyrenophora tritici-repentis* population structure in the Republic of Kazakhstan and identification of wheat germplasm resistant to tan spot [Текст]/ Kokhmetova A.M., Kovalenko N.M., Kumarbaeva M.T. // *Vavilov. J. Genet. Breed.*, (2020) vol. 24, no. 7, pp. 722–729. <https://doi.org/10.18699/VJ20.666>

- 10 Kokhmetova, A. Identification of high-yielding wheat genotypes resistant to *Pyrenophora tritici-repentis* (tan spot) [Текст]/ Kokhmetova A., Kumarbayeva M., Atishova M., Nehe A., Riley I.T., Morgounov A. // *Euphytica*. 2021, 217, 97. DOI:org/10.1007/s10681-021-02822-y
- 11 Bouvet L. Wheat genetic loci confer resistance to yellow rust in the face of recent epidemics of genetically diverse races of the fungus *Puccinia striiformis f.sp.tritici* [Текст]/ Bouvet L, Percival-Alwyn L, Berry S, Fenwick P, Mantello CC, Holdgate IJ, Mackay IJ, Cockram J (2021a) *Res Square* doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-459064/v1>
- 12 Wellings C.R. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats [Текст]/ Wellings C.R. // *Euphytica* (2011) 179:129–141
- 13 Hovmøller M.S. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near-Himalayan region [Текст]/ Hovmøller M.S., Walter S., Bayles R.A., Hubbard A., Flath K., Sommerfeldt N., Leconte M., Czembor P., Rodriguez-Algaba J., Thach T., Hansen J.G., Lassen P., Justesen A.F., Ali S., de Vallavieille-Pope C. // *Plant Pathol* (2016) 65:402–411
- 14 Hubbard A. Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population [Текст]/ Hubbard A., Lewis C., Yoshida K., Ramirez-Gonzalez R., de Vallavieille-Pope C., Thomas J. // *Genome Biol* (2015) 16:23
- 15 Downie R.C. Spetoria nodorum blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment [Текст]/ Downie R.C., Lin M., Borsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R.P., Phan H., Tan K-C., Cockram J. // *Phytopathol.* (2020) <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0280-RVW>
- 16 Койшибаев М.К. Болезни пшеницы [Текст]/ Койшибаев М.К. // Анкара: ФАО, 2018. – 365с.
- 17 Kokhmetova A.A. . Identification of *Puccinia striiformis f.sp. tritici*, characterization of wheat cultivars for resistance, and inheritance of resistance to stripe rust in Kazakhstan wheat cultivars. Kokhmetova A.A., Chen X.M., Rsaliyev S.Ssian *Australas. J. Plant Sci. Biotechnol.* 2010, 4, 64–70.
- 18 Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. Adigrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals // *Can. J. Res. Sect.* – 1948. – Vol. C26. – P. 496-500.
- 19 Riede C.R., Anderson J.A. Linkage of RFLP markers to an aluminum tolerance gene in wheat // *Crop Science.* – 1996. – Vol. 36. – P. 905-909.
- 20 Chu Ch.D., Lu L., Zhang T. Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to seasonal and Interannual climate conditions in the Lhasa area // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* – 2007. – Vol. 79, №4 (39). – P. 635-641.

References

- 1 Alexandratos N, Bruinsma J (2012) *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision: ESA Working Paper No. 12–03.* Rome
- 2 Kohmetova A.M. Қазақстанда өсірілетін бидай сорттарының пиренофороз *Pyrenophora tritici-repentis* ауруына төзімділігіне фитопатологиялық скрининг зерттеуі [Текст]/ Kohmetova A.M., Keishilov ZH.S., Falymbek K., Kumarbaeva M.T. // «Ізденістер, нәтижелер-Исследования, результаты», –Almaty, 2019. №3. – В. 213-218.
- 3 Kumarbaeva M.T. Фитопатологический скрининг на устойчивость к пиренофорозу и оценка хозяйственно-ценных признаков образцов озимой мягкой пшеницы [Текст]/ Kumarbaeva M.T., Kohmetova A.M., Rsaliyev A.S // *Izdenister, nәtizheler-Issledovaniya, rezul'taty*, –Almaty, 2020. – №2. – S.247-252.
- 4 Keishilov ZH.S. Күздік бидай коллекциясының пиренофорозға (*Pyrenophora tritici-repentis*) төзімділігін бағалау [Текст]/ Keishilov ZH.S., Kohmetova A.M., Madenova A.K., Kumarbaeva M.T., ZHigitbekova A.D. // «Ізденістер, нәтижелер-Исследования, результаты», –Almaty, 2020. – №2. –В.128-135.

5 Madenova A.K. Tilletia caries қатты қара кыжеге төзімді Vt-genderi бар bidajдың izogendi liniyalaryның fitopatologiyalyқ skринingi [Tekst]/ Madenova A.K., Atishova M.N., Kohmetova A.M., Falymbek K., Kumarbaeva M.T. // «Іzdenister, nәtizheler». – 2018. – № 4. – B. 111-116.

6 Kokhmetova A. Evaluation of wheat germplasm for resistance to leaf rust (Puccinia triticina) and identification the sources of Lr resistance genes using molecular markers [Tekst]/ Kokhmetova A., Rsaliyev Sh., Atishova M., Kumarbayeva M. (2021). Plants., vol. 10, no. 7, p. 1484. <https://doi.org/10.3390/plants10071484>

7 Kokhmetova A. Identification of Stripe Rust Resistance Genes in Common Wheat Cultivars and Breeding Lines from Kazakhstan [Tekst]/ Kokhmetova A., Rsaliyev A., Malysheva A., Atishova M. // Plants., (2021). vol. 10, no. 11, p. 2303. <https://doi.org/10.3390/plants10112303>.

8 Kokhmetova A. Genome-Wide Association Study of Tan Spot Resistance in a Hexaploid Wheat Collection From Kazakhstan [Tekst]/ Kokhmetova A., Sehgal D., Ali S., Atishova M. // Front. Genet., (2021) vol. 11, p. 581214. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.581214>

9 Kokhmetova A.M. Pyrenophora tritici-repentis population structure in the Republic of Kazakhstan and identification of wheat germplasm resistant to tan spot [Tekst]/ Kokhmetova A.M., Kovalenko N.M., Kumarbaeva M.T. // Vavilov. J. Genet. Breed., (2020) vol. 24, no. 7, pp. 722–729. <https://doi.org/10.18699/VJ20.666>

10 Kokhmetova, A. Identification of high-yielding wheat genotypes resistant to Pyrenophora tritici-repentis (tan spot) [Tekst]/ Kokhmetova A., Kumarbayeva M., Atishova M., Nehe A., Riley I.T., Morgounov A. // Euphytica. 2021, 217, 97. DOI:org/10.1007/s10681-021-02822-y

11 Bouvet L. Wheat genetic loci confer resistance to yellow rust in the face of recent epidemics of genetically diverse races of the fungus Puccinia striiformis f.sp.tritici [Tekst]/ Bouvet L, Percival-Alwyn L, Berry S, Fenwick P, Mantello CC, Holdgate IJ, Mackay IJ, Cockram J (2021a) Res Square doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-459064/v1>

12 Wellings C.R. Global status of stripe rust: a review of historical and current threats [Tekst]/ Wellings C.R. // Euphytica (2011) 179:129–141

13 Hovmøller M.S. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the centre of diversity in the near-Himalayan region [Tekst]/ Hovmøller M.S., Walter S., Bayles R.A., Hubbard A., Flath K., Sommerfeldt N., Leconte M., Czembor P., Rodriguez-Algaba J., Thach T., Hansen J.G., Lassen P., Justesen A.F., Ali S., de Vallavieille-Pope C. // Plant Pathol (2016) 65:402–411

14 Hubbard A. Field pathogenomics reveals the emergence of a diverse wheat yellow rust population [Tekst]/ Hubbard A., Lewis C., Yoshida K., Ramirez-Gonzalez R., de Vallavieille-Pope C., Thomas J. // Genome Biol (2015) 16:23

15 Downie R.C. Spetoria nodorum blotch of wheat: disease management and resistance breeding in the face of shifting disease dynamics and a changing environment [Tekst]/ Downie R.C., Lin M., Borsi B., Ficke A., Lillemo M., Oliver R.P., Phan H., Tan K-C., Cockram J. // Phytopathol. (2020) <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-20-0280-RVW>

16 Kojshibaev M.K. Bolezni pshenicy [Tekst]/ Kojshibaev M.K. // Ankara: FAO, 2018. – 365c.

18 Kokhmetova A.A. . Identification of Puccinia striiformis f.sp. tritici, characterization of wheat cultivars for resistance, and inheritance of resistance to stripe rust in Kazakhstan wheat cultivars. Kokhmetova A.A., Chen X.M., Rsaliyev S.Ssian Australas. J. Plant Sci. Biotechnol. 2010, 4, 64–70.

19 Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. Adigrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals // Can. J. Res. Sect. – 1948. – Vol. C26. – P. 496-500.

20 Riede C.R., Anderson J.A. Linkage of RFLP markers to an aluminum tolerance gene in wheat // Crop Science. – 1996. – Vol. 36. – P. 905-909.

21 Chu Ch.D., Lu L., Zhang T. Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to seasonal and Interannual climate conditions in the Lhasa area // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. – 2007. – Vol. 79, №4 (39). – P. 635-641.

М.Т. Кумарбаева*, **А.М. Кохметова**, **Ж.С. Кешилов**, **А.А. Малышева**, **А.А. Болатбекова**
Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан,
*madina_kumar90@mail.ru**, *gen_kalma@mail.ru*, *Jeka-Sayko@mail.ru*, *kanat1499@gmail.com*,
ardashka1984@mail.ru

КҮЗДІК БИДАЙ ҮЛГІЛЕРІ КОЛЛЕКЦИЯСЫНДАҒЫ САРЫ ТАТҚА (PUCCINIA STRIIFORMIS WEST END F. SP. TRITICI) ТӨЗІМДІЛІК КӨЗДЕРІН ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАУ

Аңдатпа

Өсімдік аурулары бүкіл әлем бойынша дақылдардың өнімділігі мен сапасына айтарлықтай әсер етеді. Соңғы ондаған жылдар бойы дақылдардың аурулары мен зиянкестерінің қауіптері жаһандық климаттың өзгеруі контекстінде барған сайын күшейіп келеді, бұл біздің азық-түлік өндірісі қауіпсіздігіне бірқатар қиындық туғызады. Соңғы жылдары Қазақстанда сары таттың таралуы мен зияндылығы артып келеді. Қазіргі уақытта Қазақстанда өсірілетін бидайдың коммерциялық сорттарының көпшілігі әлі де тат ауруларына төзімсіз болып келеді. Зерттеудің негізгі мақсаты - сары таттың дамуына мониторинг жүргізу және заманауи генетикалық және селекциялық әдістерді қолдана отырып *Puccinia striiformis* Westend f. sp. tritici төзімділіктің жаңа көздерін анықтау. Мониторинг нәтижелері бойынша сары таттың таралуы мен дамуы орташа деңгейде болғаны анықталды (48-52%). Фитопатологиялық скрининг нәтижесінде сары татқа иммундық реакция типімен ерекшеленген 57 бидай үлгісі (76,0 %) анықтады. Ауруларға төзімді және орташа төзімді реакция түрін көрсеткен және бірнеше төзімділік гендерінің болуымен сипатталатын 22 перспективті үлгілер анықталды. Бұл зерттеудің нәтижесінде іріктелігіп алынған күздік бидай генотиптері сары татқа төзімді бидай өсіру селекция бағдарламаларында қызығушылық тудырады.

Кілт сөздер: бидай, сары тат, сорт, линия, төзімділік, фитопатологиялық скрининг, мониторинг, биомасса индексы.

M.T. Kumarbayeva*, **A.M. Kokhmetova**, **Zh.S. Keishilov**, **A.A. Malysheva**, **A.A. Bolatbekova**
Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan,
*madina_kumar90@mail.ru**, *gen_kalma@mail.ru*, *Jeka-Sayko@mail.ru*,
kanat1499@gmail.com, *ardashka1984@mail.ru*

IDENTIFICATION OF SOURCES OF RESISTANCE TO STRIPE RUST (*PUCCINIA STRIIFORMIS* WESTEND F. SP. TRITICI) OF WHEAT IN THE COLLECTION OF WINTER SAMPLES

Abstract

Crop diseases have a significant impact on crop yields and quality worldwide. For decades, the threats from diseases and pests of crops have become more serious in the context of global climate change, which creates a problem for our food production. In recent years, there has been an increasing spread and harmfulness of stripe rust in Kazakhstan. Most of the commercial wheat cultivars currently grown in Kazakhstan are still susceptible to rust diseases. The aim of the study is to monitor the development of stripe rust and to identify new sources of resistance to *Puccinia striiformis* Westend f. sp. tritici using modern genetic breeding methods. According to the monitoring results, the spread and development of stripe rust was at an average level (48-52%). Phytopathological screening revealed 57 samples of winter wheat (76.0%) with an immune type of reaction to stripe rust. 22 promising specimens were identified that showed a resistant and moderately resistant type of response to diseases and are characterized by the presence of several resistance genes. Based on the results of this study, selected promising lines of winter wheat are of interest for a wheat breeding program for resistance to stripe rust.

Key words: wheat, stripe rust, cultivar, line, resistance, phytopathological screening, monitoring, biomass index.