

Рсалиев А.С., Ыскакова Г.Ш.,  
Амирханова Н.Т.,  
Пахратдинова Ж.У.

**Выявление доноров  
устойчивости мягкой пшеницы  
к желтой ржавчине**

В данной статье представлены результаты изучения устойчивости 70 сортов и линии мягкой пшеницы к желтой ржавчине. В ходе исследований 31 образцов озимой пшеницы (44,3% от числа изученных) проявили горизонтальную устойчивость, а 29 сортов и линии (41,4%) – расоспецифическую устойчивость к болезни. Среди них сорта PP 530, LC909, Saskia, Vlasta, Occitan, Beavborg, Ada, Saihun, Expres и Таза показали и полевую и расоспецифическую устойчивость к патогену. Кроме того по устойчивости к болезни большой интерес представляют перспективные линии 665H797-6, 686H25-9, 694H436, 837H292-4, Э-99, Э-574, Э-578, Э-782 и Э-789. Молекулярный скрининг показал наличие у 3 образцов озимой пшеницы гена устойчивости Yr5, у 7 образцов – Yr10, у 6 образцов – Yr15.

**Ключевые слова:** пшеница, желтая ржавчина, Yr-гены, молекулярные маркеры.

Rsaliev A.S., Yskakova G.Sh.,  
Amirkhanova N.T.,  
Pakhratdinova Zh.U.

**Detection of soft wheat  
resistance donors to yellow rust**

The results of studying of 70 varieties and lines of soft wheat resistance to yellow rust are presented in this article. During researches 31 samples of winter wheat (44,3% of number studied) showed horizontal resistance, and 29 varieties and lines (41,4%) – race specific resistance to disease

Among them PP 530, LC909, Saskia, Vlasta, Occitan, Beavborg, Ada, Saihun, Expres and Taz varieties showed both field and race specific resistance to pathogen. Besides the perspective lines 665N797-6, 686N25-9, 694N436, 837N292-4, E-99, E-574, E-578, E-782 and E-789 are presented the great interest on resistance to disease. Molecular screening showed that 3 samples of winter wheat have Yr5 gene resistance, 7 samples – Yr10 gene resistance, 6 samples – Yr15 gene resistance.

**Key words:** wheat, yellow rust, Yr-genes, molecular markers.

Рсалиев А.С., Ысқақова Г.Ш.,  
Амирханова Н.Т.,  
Пахратдинова Ж.У.

**Сары татқа жаздық бидайдың  
төзімділік донорларын табу**

Бұл мақалада жаздық бидайдың 70 сорты мен линиясының сары татқа төзімділігін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Зерттеу барысында күздік бидайдың 31 үлгісі (зерттелінген санының 44,3%) ауруға көлденең төзімділік, ал 29 сорт пен линия (41,4%) расаға тән төзімділік көрсетті. Олардың арасында PP 530, LC909, Saskia, Vlasta, Occitan, Beavborg, Ada, Saihun, Expres және Таза сорттары патогенге танаптық және расаға тән төзімділік байқатты. Сондай-ақ, ауруға төзімділігі бойынша 665H797-6, 686H25-9, 694H436, 837H292-4, Э-99, Э-574, Э-578, Э-782 және Э-789 линиялары ерекшеленді. Молекулалық скрининг күздік бидайдың 3 үлгісінде Yr5, 7 үлгісінде Yr10 және 6 үлгісінде Yr15 гендері бар екенін көрсетті.

**Түйін сөздер:** бидай, сары тат, Yr-гендер, молекулалық маркерлер.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ДОНОРОВ УСТОЙЧИВОСТИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ К ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЕ

### Введение

В последние годы в Центральной и Восточной Азии и Северной Африке, в том числе в Казахстане обострилась фитосанитарная обстановка в связи с распространением желтой ржавчины пшеницы javascript:popRef('a1')javascript:popRef('a2') javascript:popRef('c1')javascript:popRef('a3'). Причиной глобального беспокойства является появление новых агрессивных рас возбудителя *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*. Новые расы приспособились к более высоким температурам, и их распространение не ограничивается, как раньше, районами с прохладным климатом. Особенностью новых рас желтой ржавчины последних лет является их вирулентность к сортам с геном *Yr27*. Аналогичный случай был отмечен в 1999-2003 гг., когда сорта пшеницы с геном *Yr9* (Dashen, Falat, Mexipak, Pak 81, Seri 82) потеряли устойчивость к болезни [1]. Сильное развитие и распространение желтой ржавчины, и значительные потери урожая были отмечены в Турции, Сирии, Иране, Алжире, Индии, Йемене, Марокко, Узбекистане, Азербайджане. Ранее широко возделываемые сорта пшеницы в этих странах стали сильно поражаться новой расой болезни [1-3].

К настоящему времени получено много интересных результатов по изучению данного патогена и проведено ряд международных совещаний и конференций, посвященных проблеме видов ржавчины пшеницы. В период с 28 по 30 апреля 2014 года состоялся Международный симпозиум по желтой ржавчине пшеницы в Измире (Турция) на базе регионального центра по ржавчинным болезням зерновых культур. Организаторами симпозиума являлись Министерство сельского хозяйства Турции и международные центры: **International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)**, **International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT)**, **Borlaug Global Rust Initiative (BGRI)**, **Food and Agriculture Organization (FAO)**. В его работе приняли участие ведущие ученые в области фитопатологии, генетики, молекулярной биологии и селекции пшеницы из 41 страны. Наряду с ними в работе симпозиума приняли участие ученые из Казахстана: Койшибаев М.К. (Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина расте-

ний), Рсалиев А.С. (Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности), Бабкенова С.А. (Казахский научно-производственный центр зернового хозяйства имени А. Бараева). На данном симпозиуме нами были представлены доклады по развитию и распространению желтой ржавчины в Казахстане, а также устойчивость коммерческих сортов пшеницы к желтой, листовой и стеблевой ржавчине. Более подробная информация о мероприятии симпозиума была опубликована в журнале Защита и карантин растений [4].

На территории Казахстана желтая ржавчина встречается ежегодно, исключая крайне засушливые годы. При этом почти все допущенные к использованию в республике сорта озимой пшеницы восприимчивы к желтой ржавчине [5]. Нами установлено, что многие казахстанские сорта пшеницы, обладающие стабильной урожайностью, высоким качеством зерна и экологической пластичностью, на инфекционном фоне сильно поражаются ржавчинными болезнями. В связи с этим необходим поиск источников новых доноров устойчивости к желтой ржавчине пшеницы с использованием современных подходов. Так как в Казахстане изучение донорских свойств пшеницы является одним из слабо изученных вопросов селекции. Ранее отдельные ученые отметили, что в республике для скрещивания селекционеры привлекают, в большинстве случаев, продуктивные, адаптивные сорта. При этом сужается генетическая основа устойчивости возделываемых сортов к видам ржавчины. Многие райониро-

ванные сорта пшеницы в своей основе имеют Безостую 1, Мироновскую 808, Саратовскую 29, т.е. выбор лимитирующих генов устойчивости весьма ограничен [6]. Выявление доноров устойчивости к болезням создает предпосылки для выведения и внедрения в производство новых болезнеустойчивых сортов пшеницы, которые являются основой интенсификации сельского хозяйства.

В целом успех создания сортов пшеницы, резистентных к желтой ржавчине, во многом определяется наличием источников, несущих высокоэффективные гены устойчивости. В связи с этим целью нашей работы было выделить сорта и линии пшеницы, которые могли бы служить донорами эффективных генов устойчивости к желтой ржавчине.

### Материалы и методы

Сорта, образцы и линии мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) были основными объектами экспериментов. Всего использовано 70 сортов и линий озимой пшеницы, а также *Yr*-линии сорта Avocet, тестирующие генов устойчивости *Yr5*, *Yr10* и *Yr15*. В качестве инфекционного материала использованы казахстанская популяция и физиологические расы возбудителя *P. striiformis f.sp. tritici* 39E158, 7E156, 7E158, обладающие различной вирулентностью к изогенным *Yr*-линиям. Для проведения молекулярного скрининга использованы ДНК-маркеры, тесно сцепленные с эффективными генами устойчивости к желтой ржавчине (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика ДНК маркеров к эффективным генам устойчивости к желтой ржавчине

Гены	Тип маркера	Название праймера	Последовательность праймеров (5'–3')	Продукт амплификации, п.н.	Источник
Yr5	STS*	S19M93-100-F	TAATTGGGACCGAGAGACG	100	[7]
		S19M93-100-R	TTCTTGCAGCTCCAAAACCT		
Yr10	SSR**	Xpsp3000-F	GCAGACCTGTGTCATTGGTC	286	[8]
		Xpsp3000-R	GATATAGTGGCAGCAGGATACG		
Yr15	SSR	Xgwm413-F	TGCTTGTCTAGATTGCTTGGG	110	[9]
		Xgwm413-R	GATCGTCTCGTCTTGGCA		

Примечание: STS\*- sequence tagged sites (сайты с известной последовательностью), SSR\*\* – simple sequence repeats (простые повторяющиеся последовательности)

*Методы изучения пшеницы в поле.* Полевые опыты заложены в полевом орошаемом участке НИИПББ. Посев семян проводили вручную на

делянках, площадью 0,4-1,0 м<sup>2</sup> с междурядьями 20 см и длиной рядка 100 см. В каждый рядок высевали по 65 зерен. В фазе кущения растений

создан искусственный инфекционный фон с использованием возбудителя желтой ржавчины, инфекционная нагрузка уредоспор составила 20 мг/м<sup>2</sup>. Взятый для заражения инокулюмом активировали при температуре 37-40 °С в течение 30 минут с последующим обводнением во влажной камере при температуре 18-22 °С в течение 2-4 часа [10]. В полевых условиях для проведения оценки устойчивости пшеницы к болезни использовали международную унифицированную шкалу [11], определяя тип реакции растений по характеру пустул ржавчины *R* (*Resistant* – устойчивый), *MR* (*Moderate Resistant* – среднеустойчивый), *MS* (*Moderate Susceptible* – средневосприимчивый), *S* (*Susceptible* – восприимчивый). Степень поражения определяли в процентах по модифицированной шкале Кобба [12].

**Методы изучения пшеницы в теплице.** В условиях теплицы определена расоспецифическая устойчивость пшеницы к желтой ржавчине. Семена каждого сорта и линии посеяли по 5-8 шт. в пластмассовые горшки, объемом 25-50 см<sup>3</sup> и устанавливали в виде наборов (вариантов) в кюветы. Затем каждый набор пшеницы одновременно и отдельно заражали выбранными расами болезни приблизительно через 7 суток после посева. Инокуляцию проводили по методу опрыскивания водной суспензией спор (1:100) с добавлением одной капли Твин-80. После заражения создавали влажную камеру в течение 24 часов [10]. Далее в боксах теплицы созданы благоприятные условия для роста и развития растений и возбудителя болезни: температура воздуха 10-16 °С, освещенность 10-15 000 Лк, световой период 16 ч, влажность воздуха 70-80%. Учет типа реакции на заражение проводили на 14-й день после инокуляции по шкале G.Gassner, W.Straib [13]. При этом тип реакции растений на заражение определяли по балльной шкале: *i* – нет симптомы; 0 – некротические/хлоротичные полосы, без споруляции; 1 – слабая споруляция, некротические/хлоротичные полосы; 2 – обильная споруляция, некротические/хлоротичные полосы; 3 – обильная споруляция с хлорозом; 4 – обильная споруляция без хлороза. При этом к устойчивому типу относят реакции *i*, 0, 1 и 2 балла, к восприимчивому типу – 3 и 4 балла [13].

**Методы молекулярного скрининга пшеницы.** Экстракцию ДНК пшеницы осуществляли из листьев 7-10 дневных проростков, согласно методике Dellaporta S.L., Wood J., Hicks J.B. [14]. Для постановки ПЦР использовалась геномная ДНК пшеницы (50 нг), 10x ПЦР буфер (Invitrogen Corporation), 10 mM dNTP-Mix (Fermentas),

50 mM MgCl<sub>2</sub> (Invitrogen Corporation), пара праймеров (10 pmol), Taq DNA polymerase (5 ед/мкл) (Invitrogen Corporation) и бидистиллированная вода (Invitrogen Corporation). Реакцию вели в условиях, рекомендуемых авторами [7-9], с незначительными модификациями. В качестве положительного контроля использовали изогенные линии, тестирующие Yr-гены устойчивости, а отрицательным контролем служила деионизированная вода. Нарботку специфических участков ДНК проводили в термоциклере «Thermocycler-Pro» (Eppendorf, Германия).

Выявление продукта ПЦР проводилось при помощи электрофореза в 1,5% агарозном геле (iNtRON, Biotechnology Grade). Разделение амплифицированных фрагментов выполняли в электрофорезной камере (Scie-Plas, Великобритания) в TBE буфере с добавлением бромистого этидия в течение 1,5 часов при напряжении электрического поля 80 V. Анализ результатов электрофореза проводилось с использованием гель-документирующей системы «MiniBIS Pro, Израиль» с программным обеспечением GelCapture и Gel Quant Express. Определение длин амплифицированных фрагментов проводилось по сравнению с ДНК – маркерами «1kb DNA Ladder», «50bp DNA Ladder» и «100bp DNA Ladder» (Invitrogen Corporation).

### Результаты исследований

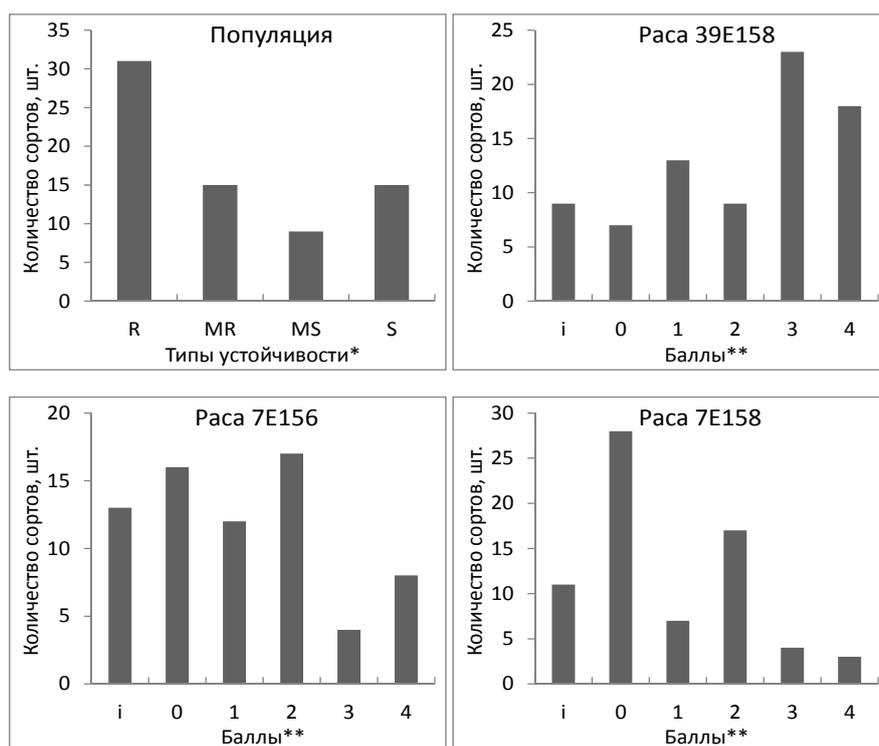
С целью определения фенотипов с горизонтальной устойчивости провели оценку 70 сортов и линии озимой мягкой пшеницы на устойчивость к возбудителю желтой ржавчины. В результате полевых исследований 44,3% (31 образцов) проявили устойчивость (степень развития болезни до 20%), 21,4% (15 образцов) – умеренную устойчивость (степень развития болезни от 21 до 30%), 12,8% (9 образцов) – умеренную восприимчивость (степень развития болезни от 31 до 50%), 21,4% (15 сортов и линий) были высоко восприимчивыми к патогену (степень развития болезни от 51 до 80%). Результаты исследований показаны на рисунке 1.

Желтая ржавчина в большинстве случаев поражает всходы пшеницы, и поэтому отбор устойчивых растений в начальной фазе дает большой эффект. Для оценки сортов пшеницы на расоспецифическую устойчивость к патогену проведена оценка этих образцов к 3 расам (39E158, 7E156, 7E158) *P. striiformis* f.sp. *tritici* в условиях теплицы. Следует отметить, что из них только одна раса (39E158) входит в число опас-

ных и основных рас в популяции Казахстана, а остальные 2 (7E156, 7E158) относятся к средневирulentным расам [15]. В результате сорта, дифференциально реагирующие на разные по вирулентности расы возбудителя (т.е. устойчивые к одним расам и восприимчивые к другим), обладали расоспецифической устойчивостью. При этом большинство изученных сортов озимой пшеницы (41 образец или 58,6% от всего испытанных) на стадии проростков показали максимальный тип инфекции (баллы 3 и 4) к расе 39E158. Но количество таких восприимчивых сортов были значительно меньше к остальным двум расам 7E156 и 7E158. Высоким уровнем расоспецифической устойчивости обладали 29 сортов и линии (41,4% от числа изученных), тип инфекции у которых были i, 0 и 1 балла ко всем использованным расам гриба. Из них зарубежные сорта PP 530, LC909, Saskia, Vlasta, Occitan,

Beavborg, Ada, Saihun, Expres проявили также и полевую устойчивость. Кроме того, по изучаемым признакам большой интерес представляют отечественные сортообразцы Жалын, Таза, 665Н797-6, 686Н25-9, 694Н436, 837Н292-4, Э-99, Э-574, Э-578, Э-782 и Э-789. При этом у этих образцов образовались очень мелкие пустулы, тип инфекции были в пределах в 0-1 балла, а степень развития болезни – до 10%.

Следующим этапом работы было проведение молекулярного скрининга устойчивых образцов пшеницы с целью выявления носителей эффективных генов устойчивости к желтой ржавчине. В общей сложности было протестировано 35 сортов и линий озимой пшеницы. В предыдущих наших исследованиях было отмечено, что в Казахстане высокоэффективными генами устойчивости к желтой ржавчине являются *Yr5*, *Yr10* и *Yr15* [15, 16].



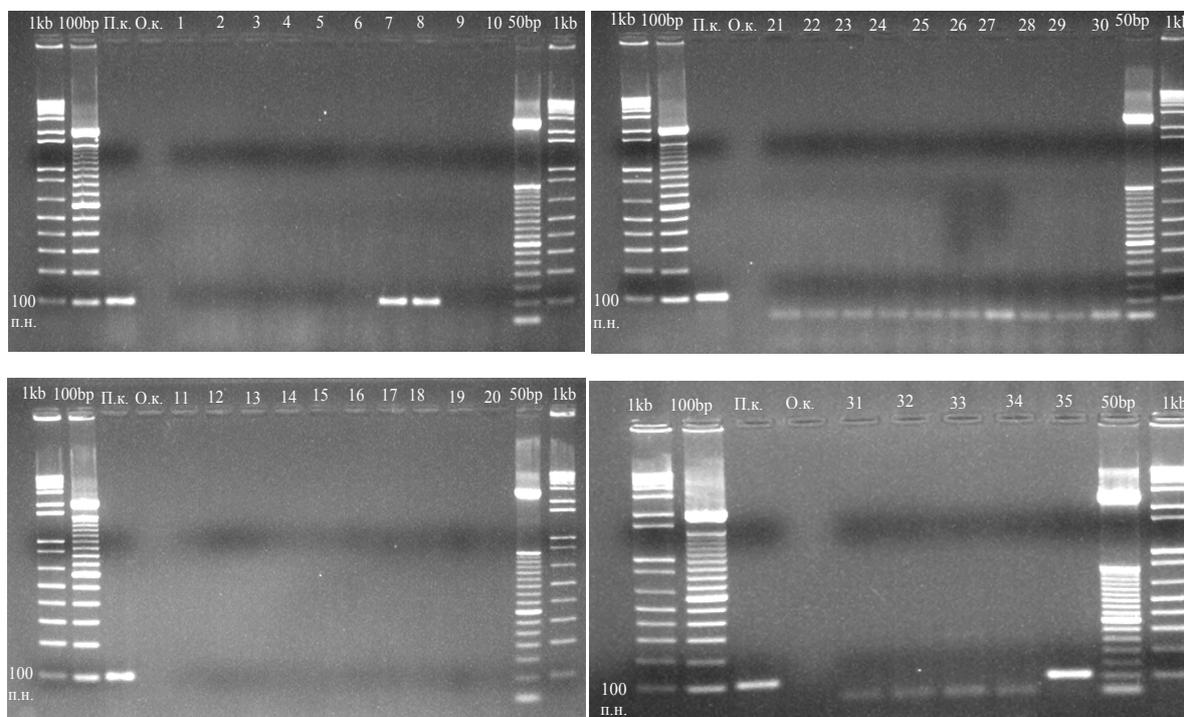
**Рисунок 1** – Распределение сортов и линии озимой пшеницы по устойчивости к желтой ржавчине \* – оценки устойчивости в поле, \*\* – тип реакции в теплице

Ген *Yr5* первоначально идентифицирован из спелтоидной пшеницы *T. spelta* var. *album* [17], а позднее выяснилось, что он присутствует в ряде пшеницы полбы [18]. Этот ген с помощью моносомных анализов был локализован на длинном плече хромосомы 2В мягкой пшени-

цы [19]. В районе локализации гена *Yr5* расположено несколько ДНК-маркеров (*Xwmc175-2B*, *YrSTS-7/8*, *STS-9/STS-10*, *Xbarc349-2B*, *Xgwm501-2B*, *S19M93-100*), среди которых наиболее оптимальным для выявления данного гена от *T. aestivum* является маркер *S19M93-100*. При

этом данный маркер также локализован на длинном плече хромосомы 2В и фланкирует локус гена *Yr5* на расстоянии 0,0 сМ [7]. Тестирование с помощью вышеотмеченного молекулярного маркера (*S19M93-100*) показало, что у отдель-

ных сортов имеется ген устойчивости *Yr5*, при этом специфический продукт амплификации с молекулярным весом 100 п.н. обнаружен у образцов Э-774, Э-578, Le 2301 и у контрольной линии с геном *Yr5* (рисунок 2).



П.к. – положительный контроль (Avocet Yr5), О.к. – отрицательный контроль (H<sub>2</sub>O), 1 – Жалын, 2 – Таза, 3 – Тунгыш, 4 – Э-19, 5 – Э-99, 6 – Э-572, 7 – Э-774, 8 – Э-578, 9 – Э-781, 10 – Э-782, 11 – Э-789, 12 – Э-794, 13 – Э-796, 14 – Айчурек, 15 – Улугбек 600, 16 – Stephens, 17 – Tres, 18 – Tyer, 19 – Yamhyll, 20 – PP 530, 21 – LC 909, 22 – Piotta, 23 – Saskia, 24 – Vlasta, 25 – Subtil, 26 – Beavborg, 27 – Mtskhetskaya1/65, 28 – Азиброш, 29 – Ada, 30 – Alma, 31 – Manyra, 32 – Сайхун, 33 – Kinaci 97, 34 – Expres, 35 – Le 2301

**Рисунок 2** – Молекулярный скрининг сортов озимой мягкой пшеницы для идентификации носителя гена устойчивости *Yr5*

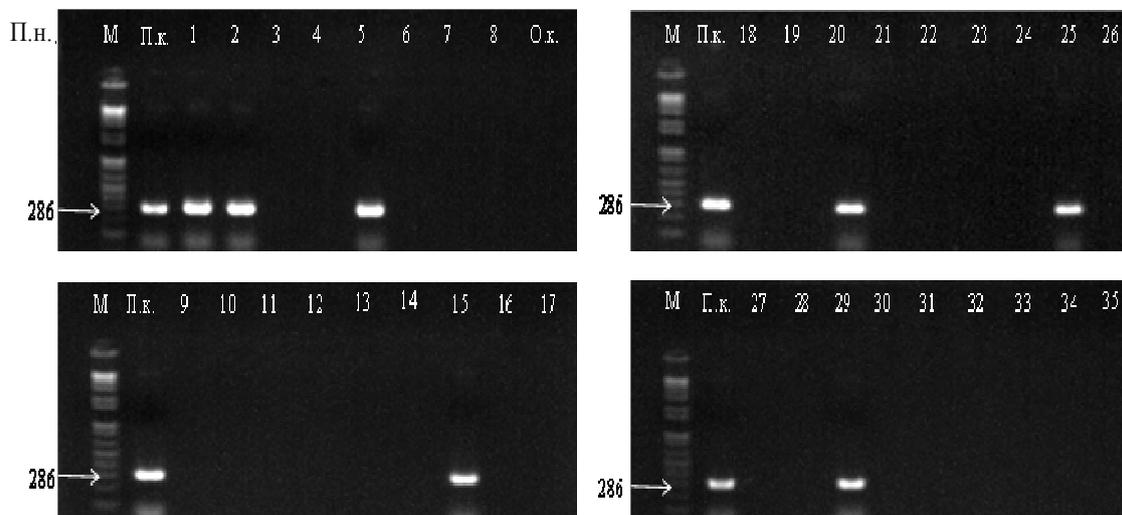
Следующий ген *Yr10* локализован на хромосоме 1В, источником гена является сорт Мого (*T.monococcum*), тестирующая линия – Yr10/6\*Avocet «S». В настоящее время данный ген можно идентифицировать с помощью молекулярных маркеров, таких как SSR (simple sequence repeats), SCAR (sequence characterized amplified region) и RGA (resistance gene analog polymorphisms). По литературным данным, SSR-маркер к локусу *Xp3000* является наиболее диагностическим по сравнению с другими маркерами [8]. В связи этим мы в своих экспериментах использовали пару праймеров к SSR-локусу маркера *Xp3000*. При использовании праймеров к данному локусу характерный фрагмент

амплификации размером 286 п.н. выявлен у семи генотипов пшеницы (Таза, 665Н797-6, 694Н436, Э-774, Э-781, Э-782, Vlasta) и изогенной линии Yr10/6\*Avocet «S». Следовательно, эти образцы являются носителями гена устойчивости *Yr10* (рисунок 3).

Эффективный ген *Yr15* расположен на коротком плече хромосомы 1В, и передан в мягкую пшеницу из *T. turgidum* L. [20]. Для выявления указанного гена нами была использована пара праймеров к локусу *Xgwm413*, разработанная на основе SSR-маркера [9, 21]. При использовании маркера *Xgwm413* продукт амплификации размером 110 п.н. указывает функциональные аллели данного гена. В результате ПЦР характер-

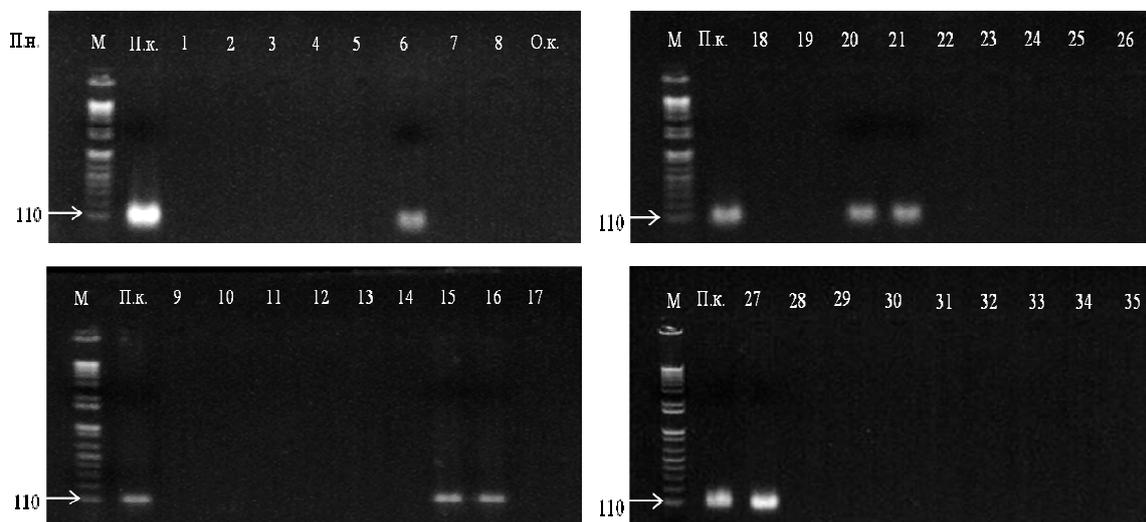
ный фрагмент размером 110 п.н. был выявлен у некоторых генотипов мягкой пшеницы. По данным молекулярного скрининга к носителям гена

*Yr15* следует отнести следующих сортов и линии пшеницы: 686Н25-9, 837Н292-4, РР 530, LC 909, Э-99 и Э-789 (рисунок 4).



М – маркер (1kb Ladder), П.к. – положительный контроль, О.к. – отрицательный контроль, 1 – Таза, 2 – 665Н797-6, 3 – Жалын, 4 – Тунгыш, 5 – 694Н436, 6 – Э-572, 7 – Улугбек, 8 – Э-578, 9 – Mv10-2000, 10 – Ada, 11 – Э-789, 12 – Э-686Н25-9, 13 – Э-99, 14 – Айчурек, 15 – Э-774, 16 – РР 530, 17 – LC 909, 18 – Piotta, 19 – Saskia, 20 – Э-781, 21 – Subtil, 22 – Beavborg, 23 – 680Н759-4, 24 – Э-19, 25 – Э-782, 26 – 837Н292-4, 27 – Manyra, 28 – Азиброш (Грекум 6), 29 – Vlasta, 30 – Aisi, 31 – Konya 2002, 32 – Сайхун, 33 – Kinaci 97, 34 – Expres, 35 – Le 2301

**Рисунок 3** – Молекулярный скрининг сортов озимой мягкой пшеницы для идентификации носители гена устойчивости *Yr10*



М – маркер (1kb Ladder), П.к. – положительный контроль, О.к. – отрицательный контроль, 1 – Таза, 2 – 665Н797-6, 3 – Жалын, 4 – Тунгыш, 5 – 694Н436, 6 – Э-686Н25-9, 7 – Улугбек, 8 – Э-578, 9 – Mv10-2000, 10 – Ada, 11 – Manyra, 12 – Э-572, 13 – Subtil, 14 – Айчурек, 15 – 837Н292-4, 16 – РР 530, 17 – Э-781, 18 – Piotta, 19 – Saskia, 20 – LC 909, 21 – Э-99, 22 – Beavborg, 23 – 680Н759-4, 24 – Э-19, 25 – Э-782, 26 – Э-774, 27 – Э-789, 28 – Азиброш, 29 – Vlasta, 30 – Aisi, 31 – Konya 2002, 32 – Сайхун, 33 – Kinaci 97, 34 – Expres, 35 – Le 2301

**Рисунок 4** – Молекулярный скрининг сортов озимой мягкой пшеницы для идентификации носители гена устойчивости *Yr15*

## Обсуждение результатов

При изучении генетики иммунитета растений широко используемыми типами устойчивости являются расоспецифическая (вертикальная) и нерасоспецифическая (горизонтальная), температурная устойчивость взрослого растения [22]. Резистентность взрослого растения (*APR – Adult plant resistance*) обусловлена механизмом длительной устойчивости (*Durable resistance*) или замедленного (*Slow rusting*) развития болезни [23]. Но каким бы типом устойчивости не был защищен сорт, важным является его генетическая основа устойчивости к болезни. Так как имели место случаи, когда гены вертикальной устойчивости сохраняли данный признак в течение многих лет, и наоборот, когда нерасоспецифическая устойчивость преодолевалась паразитом через определенное время. Эти причины способствовали появлению у некоторых ученых осторожности к горизонтальной устойчивости и усилению роли в селекции вертикальной устойчивости [24].

К настоящему времени с использованием традиционных методов селекции, генетики и молекулярных маркеров у отдельных сортов пшеницы идентифицированы Yr-гены устойчивости к желтой ржавчине, при этом ген *Yr9* имеют сорта: Аврора, Венно, Безостая 2, Clement, Cougar, Кавказ, Lovrin 10, Lovrin 13, Mildress, Perseus, Предгорная, Salmon, Скороспелка 35; *Yr18* – Jupateco 73R, Lerma Rojo 64, Nacazari 76, Tonichi S 81, Penjamo 62; *Yr27* – Ciano 79, Selkirk, Webster; Yr29 – Pavon F76 [25]. Ген устойчивости *Yr18* имеется у сортов озимой пшеницы Anza и Безостая 1 [26, 27]. Буквально недавно среди казахстанских сортов выявлены носители генов устойчивости к желтой ржавчине – *Yr5*, *Yr10* и *Yr15*, которые идентифицированы в процессе молекулярного скрининга 17 сортов и образцов пшеницы [28].

В результате использования комплексного подхода, включающего фитопатологические методы оценки полевой и расоспецифической устойчивости, нами охарактеризована устойчивость 70 сортов и линий пшеницы, и проведена идентификация у них эффективных Yr-генов. В результате исследований выявлено сортообразцы с высоким уровнем расоспецифической и горизонтальной устойчивости к желтой ржавчине. Молекулярный скрининг показал наличие у отдельных сортов и линий генов устойчивости *Yr5* (Э-774, Э-578, Le 2301), *Yr10* (Таза, 665H797-6, 694H436, Э-774, Э-781, Э-782, Vlasta) и *Yr15* (686H25-9, 837H292-4, PP 530, LC 909, Э-99 и Э-789). По литературным данным казахстанской

сорт Таза является также носителем гена устойчивости к листовой ржавчине *Lr25*, и комплексных генов *Sr39/Lr35* [29].

Результаты анализа литературы и собственных исследований показывают, что в Казахстане, несмотря на работу по молекулярному скринингу гермоплазмы, выявлению источников генов устойчивости, и вовлечению их в селекционный процесс, среди коммерческих сортов пшеницы очень мало устойчивых к желтой ржавчине. Известно, что устойчивость пшеницы к болезням сопряжена со сложным характером взаимодействия двух биологических систем – растения-хозяина и патогена. В связи с этим для успешной научной работы на иммунитет необходимо знание расового состава популяции патогена, а так же необходимо выявление сортов с расоспецифической, ювенильной и полевой устойчивости к болезни. Современная селекция пшеницы предусматривает обязательное включение молекулярного скрининга для идентификации генов устойчивости к болезни. Однако только комплексное использование фитопатологических и молекулярных подходов с высокой достоверностью охарактеризовать генетическую детерминацию устойчивости у изучаемого материала. В связи с этим выполнение таких работ при тесном взаимодействии фитопатологов, генетиков и селекционеров способствует более быстрой отдаче – предотвращению массового развития болезни в течение длительного времени.

## Выводы

В результате исследований 31 образцов озимой пшеницы (44,3% от числа изученных) проявили возрастную устойчивость, а 29 сортов и линии (41,4%) – расоспецифическую устойчивость к желтой ржавчине. Молекулярный скрининг показал наличие у 3 образцов озимой пшеницы гена устойчивости *Yr5*, у 7 образцов – *Yr10*, у 6 образцов – *Yr15*, соответственно. Выявленные сорта и линии пшеницы с высокой устойчивостью к желтой ржавчине и с эффективными Yr-генами представляют собой ценный исходный материал, который может быть использован как доноры в селекционных программах, направленных на создание устойчивых к болезни.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках программы грантового финансирования на 2013-2015 гг. (грант №2461/ГФЗ).*

## Литература

- 1 Рсалиев Ш. Опасность распространения желтой ржавчины пшеницы в Казахстане. // Доклады международной научно-практической конференции «Достижение и перспективы селекции, семеноводства сельскохозяйственных культур и богарного земледелия» посвященной 100-летию создания ТОО «Красноводопадской сельскохозяйственной опытной станции». – Шымкент, 2011. – С.158-161.
- 2 Ziyaev Z.M., Sharma R.C., Nazari K., Morgounov A.I., Amanov A.A., Ziyadullaev Z.F., Khalikulov Z.I., Alikulov S.M. Improving wheat stripe rust resistance in Central Asia and Caucasus // *Euphytica*. – 2010. – No. 24. – P.1-11.
- 3 Wan A.V., Chen X.M., He Z.H. Wheat stripe rust in China // *Australian journal of Agricultural Research*. – 2007. – Vol. 58. – P. 605-619.
- 4 Койшыбаев М. Второй Международный симпозиум по желтой ржавчине пшеницы // *Защита и карантин растений*. – 2014. – №7. – С. 48-52.
- 5 Койшыбаев М. Особенности развития желтой ржавчины на озимой пшенице в южном и юго-восточном Казахстане // *Материалы Международной конференции «Достижения и перспективы земледелия, селекции и биологии сельскохозяйственных культур*. – Алматы, 2010. – С. 145-147.
- 6 Уразалиев Р.А., Гультаева Е.М., Михайлова Л.А., Байракимов С.Б. Наследование устойчивости к видам ржавчины у сортов и гибридов пшеницы // *Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана*. – 1994. – №1. – С.45-52.
- 7 Smith P.H., Hadfield J., Hart N.J., Koeber R.M., Boyd L.A. STS markers for the wheat yellow rust resistance gene Yr5 suggest a NBS-LRR-type resistance gene cluster. // *Genome*. 2007. – Vol.50. – P.259-65.
- 8 Wang L.F., Ma J.X., Zhou R.H., Wang X.M., Jia J.Z. Molecular tagging of the yellow rust resistance gene Yr10 in common wheat, P.I. 178383 (*Triticum aestivum* L.). // *Euphytica*. – 2002. – Vol. 124. – P. 71-73.
- 9 Peng J. H., Fahima T., Roder M. S., Li Y. C., Dahan A., Grama A., Ronin Y. I., Korol A. B., Nevo E. Microsatellite tagging of the stripe rust resistance gene YrH52 derived from wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, and suggestive negative crossover interference on chromosome 1B // *Theor. Appl. Genet.* – 1999. – Vol. 98. – P. 862-872.
- 10 Методы выявления ценных сортов зерновых культур среди интродуцированных селекционных материалов (Методическая рекомендация) // Ш.С. Рсалиев, Ж.С. Тилеубаева, А.С. Рсалиев, А.Ч. Агабаева. – пгт. Гвардейский, 2004. Инв. №828. – 15 с.
- 11 Roelfs A., Singh R., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. – Mexico, CIMMYT. – 1992. – 45 p.
- 12 Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // *Canad. J. Res.* – 1948. – Vol. 26. – P. 496-500.
- 13 Gassner G., Straib W. Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten der Weizensorten gegen *Puccinia glumarum* // *Phytopathology Zeitschrift*. – 1929 – Vol.1. N.3. – P. 215-275.
- 14 Dellaporta S.L., Wood J., Hicks J.B. A plant DNA miniprep: version II. // *Plant. Mol. Biol. Rep.* 1983. – Vol. 1. – P. 19-21.
- 15 Рсалиев Ш.С., Агабаева А.Ч. Рсалиев А.С. Динамика изменения популяции желтой ржавчины пшеницы (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) в Казахстане. // Сборник материалов Международной научной конференции «Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке», посвященной 150-летию со дня рождения А.А.Ячевского. – СПб., 2013. – С. 231-234.
- 16 Рсалиев А.С., Рсалиев Ш.С., Агабаева А.Ч. Эффективность генов устойчивости пшеницы к желтой ржавчине в Казахстане. // Материалы международной научно-практической конференции: «Современные научные достижения». – Чехия, 2014. – С.99-103.
- 17 Macer R.C.F. The formal and monosomic genetic analysis of stripe rust (*Puccinia striiformis*) resistance in wheat. // *Proc. of 2nd Int. Wheat Genet. Symp. Lund. Hereditas*, 2 (Suppl). – 1963. – P.127-142.
- 18 Kema G.H.J. Resistance in spelt wheat to yellow rust I. Formal analysis and variation for gliadin patterns // *Euphytica*. – 1992. – Vol. 63. – P. 207-217.
- 19 Law C.N. Genetic control of yellow rust resistance in *Triticum aestivum* ssp *spelta* var *album*. // *Plant Breeding Institute, Cambridge, Annual Report*. – 1975. – P.108-109.
- 20 McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts: An atlas of resistance genes. – Australia, CSIRO, 1995. – 200 p.
- 21 Chague V., Fahima T., Dahan A., Sun G. L., Korol A. B., Ronin Y. I., Grama A., Roder M. S., Nevo E. Isolation of microsatellite and RAPD markers flanking the Yr15 gene of wheat using NILs and bulked segregant analysis // *Genome*. – 1999. – Vol.42. – P.1050-1056.
- 22 Chen X.M., Line R.F. Identification of stripe rust resistance genes in wheat genotypes used to differentiate North American races of *Puccinia striiformis* // *Phytopathology*. – 1992. – 82. – P.1428-1434.
- 23 Morris C.F., King G.E., Allan R.E., Simeone M.C. Identification and characterization of near-isogenic hard and soft hexaploid wheats // *Crop Science*. – 2001. – 41. – P.211-217.
- 24 Кривченко В.И. Состояние и перспективы исследований по иммунитету растений в селекции // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции (Иммунитет растений к инфекционным болезням)*. – Ленинград, 1982. – 71. – 3. – С.4-16.
- 25 McIntosh R.A., Yamazaki Y., Devos K.M., Dubcovsky J., Rogers W.J., Appels R. Catalog of gene symbols for wheat // 10<sup>th</sup> International wheat genetics symposium. Paestum, Italy. 1-6 September 2003. – Roma, 2003. – 121 p.
- 26 Singh R.P., Nelson J.C., Sorrells M.E. Mapping Yr28 and other genes for resistance to stripe rust in wheat // *Crop Science*. – 1998. – Vol.40. – P.1148-1155.
- 27 Singh R.P., Rajaram S. Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats // *Euphytica*. – 1994. – Vol.72. – P.1-7.

28 Кохметова А.М., Сапахова З.Б., Маденова А.К., Есенбекова Г.Т. Идентификация носителей генов устойчивости к желтой Yr5, Yr10, Yr15 и бурой ржавчине Lr26, Lr34 на основе молекулярного скрининга образцов пшеницы. // Биотехнология. Теория и практика. – 2014. – №1. – С.71-78.

29 Уразалиев Р.А., Абсаттарова А.С., Айтхожина Н.А., Ахметоллаев И. Молекулярные маркеры в оценке сортов озимой мягкой пшеницы на наличие генов устойчивости к бурой ржавчине и септориозу // Мат. конф. «Достижения и проблемы защиты и карантина растений», Ч.2. – Алматы, 2008. – С.142-145.

## References

1 Rsaliev Sh. Opasnost' rasprostraneniya zheltoj rzhavchiny pshenicy v Kazahstane. // Doklady mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Dostizhenie i perspektivy selekcii, semenovodstva sel'skohozjajstvennyh kul'tur i bogarnogo zemledelija» posvjashhennoj 100-letiju sozdaniya TOO «Krasnovodopadskoj sel'skohozjajstvennoj opytnoj stancii». – Shymkent, 2011. – S.158-161.

2 Ziyaev Z.M., Sharma R.C., Nazari K., Morgounov A.I., Amanov A.A., Ziyadullaev Z.F., Khalikulov Z.I., Alikulov S.M. Improving wheat stripe rust resistance in Central Asia and Caucasus // Euphytica. – 2010. – No. 24. – P.1-11.

3 Wan A.V., Chen X.M., He Z.H. Wheat stripe rust in China // Australian journal of Agricultural Research. – 2007. – Vol.58. – P.605-619.

4 Kojshybaev M. Vtoroj Mezhdunarodnyj simpozium po zheltoj rzhavchine pshenicy. //Zashhita i karantin rastenij. – 2014. – №7. – S.48-52.

5 Kojshibaev M. Osobennosti razvitiya zheltoj rzhavchiny na ozimoy pshenice v juzhnom i jugo-vostochnom Kazahstane // Materialy Mezhdunarodnoj konferencii «Dostizheniya i perspektivy zemledelija, selekcii i biologii sel'skohozjajstvennyh kul'tur. – Almalybak, 2010. – S.145-147.

6 Urazaliev R.A., Gul'taeva E.M., Mihajlova L.A., Bajrakimov S.B. Nasledovanie ustojchivosti k vidam rzhavchiny u sortov i gibridov pshenicy // Vestnik sel'skohozjajstvennoj nauki Kazahstana. – 1994. – №1. – S.45-52.

7 Smith P.H., Hadfield J., Hart N.J., Koebner R.M., Boyd L.A. STS markers for the wheat yellow rust resistance gene Yr5 suggest a NBS-LRR-type resistance gene cluster. // Genome. 2007. – Vol.50. – P.259-65.

8 Wang L.F., Ma J.X., Zhou R.H., Wang X.M., Jia J.Z. Molecular tagging of the yellow rust resistance gene Yr10 in common wheat, P.I. 178383 (Triticum aestivum L.). // Euphytica. – 2002. – Vol. 124. – P.71-73.

9 Peng J. H., Fahima T., Roder M. S., Li Y. C., Dahan A., Grama A., Ronin Y. I., Korol A. B., Nevo E. Microsatellite tagging of the stripe rust resistance gene YrH52 derived from wild emmer wheat, Triticum dicoccoides, and suggestive negative crossover interference on chromosome 1B // Theor. Appl. Genet. – 1999. – Vol.98. – P.862-872.

10 Metody vyjavleniya cennyh sortov zernovyh kul'tur sredi introducirovannyh selekcionnyh materialov (Metodicheskaja rekomendacija) // Sh.S. Rsaliev, Zh.S. Tileubaeva, A.S. Rsaliev, A.Ch. Agabaeva. – pgt. Gvardejskij, 2004. Inv. №828. – 15 s.

11 Roelfs A., Singh R., Saari E.E. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. – Mexico, CIMMYT. – 1992. – 45 r.

12 Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Canad. J. Res. – 1948. – Vol.26. – P.496-500.

13 Gassner G., Straib W. Experimentelle Untersuchungen uber das Verhalten der Weizensorten gegen Puccinia glumarum // Phytopathology Zeitschrift. – 1929 – Vol.1. N.3. – P.215-275.

14 Dellaporta S.L., Wood J., Hicks J.B. A plant DNA miniprep: version II. // Plant. Mol Biol. Rep. 1983. – Vol. 1. – P. 19-21.

15 Rsaliev Sh.S., Agabaeva A.Ch. Rsaliev A.S. Dinamika izmeneniya populjacji zheltoj rzhavchiny pshenicy (Puccinia striiformis f.sp. tritici) v Kazahstane. // Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Problemy mikologii i fitopatologii v XXI veke», posvjashhennoj 150-letiju so dnja rozhdenija A.A.Jachevskogo. – SPb., 2013. – S. 231-234.

16 Rsaliev A.S., Rsaliev Sh.S., Agabaeva A.Ch. Jefferktivnost' genov ustojchivosti pshenicy k zheltoj rzhavchine v Kazahstane. // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: «Sovremennye nauchnye dostizheniya». – Chelija, 2014. – S.99-103.

17 Macer R.C.F. The formal and monosomic genetic analysis of stripe rust (Puccinia striiformis) resistance in wheat. // Proc. of 2nd Int. Wheat Genet. Symp. Lund. Hereditas, 2 (Suppl). – 1963. – R.127-142.

18 Kema G.H.J. Resistance in spelt wheat to yellow rust I. Formal analysis and variation for gliadin patterns // Euphytica. – 1992. – Vol. 63. – P.207-217.

19 Law C.N. Genetic control of yellow rust resistance in Triticum aestivum ssp spelta var album. // Plant Breeding Institute, Cambridge, Annual Report. – 1975. – P.108-109.

20 McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts: An atlas of resistance genes. – Australia, CSIRO, 1995. – 200 p.

21 Chague V., Fahima T., Dahan A., Sun G. L., Korol A. B., Ronin Y. I., Grama A., Roder M. S., Nevo E. Isolation of microsatellite and RAPD markers flanking the Yr15 gene of wheat using NILs and bulked segregant analysis // Genome. – 1999. – Vol.42. – P.1050-1056.

22 Chen X.M., Line R.F. Identification of stripe rust resistance genes in wheat genotypes used to differentiate North American races of Puccinia striiformis // Phytopathology. – 1992. – 82. – P.1428-1434.

23 Morris C.F., King G.E., Allan R.E., Simeone M.C. Identification and characterization of near-isogenic hard and soft hexaploid wheats // Crop Science. – 2001. – 41. – P.211-217.

- 24 Krivchenko V.I. Sostojanie i perspektivy issledovanij po immunitetu rastenij v selekcii // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii (Immunitet rastenij k infekcionnym boleznjam). – Leningrad, 1982. – 71. – 3. – S.4-16.
- 25 McIntosh R.A., Yamazaki Y., Devos K.M., Dubcovsky J., Rogers W.J., Appels R. Catalog of gene symbols for wheat // 10th International wheat genetics symposium. Paestum, Italy. 1-6 September 2003. – Roma, 2003. – 121 p.
- 26 Singh R.P., Nelson J.C., Sorrells M.E. Mapping Yr28 and other genes for resistance to stripe rust in wheat // Crop Science. – 1998. – Vol.40. – P.1148-1155.
- 27 Singh R.P., Rajaram S. Genetics of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats // Euphytica. – 1994. – Vol.72. – P.1-7.
- 28 Kohmetova A.M., Sapahova Z.B., Madenova A.K., Esenbekova G.T. Identifikacija nositelej genov ustojchivosti k zheltoj Yr5, Yr10, Yr15 i buroj rzhavchine Lr26, Lr34 na osnove molekularnogo skringa obrazcov pshenicy. // Biotehnologija. Teorija i praktika. – 2014. – №1. – S.71-78.
- 29 Urazaliev R.A., Absattarova A.S., Ajthozhina N.A., Ahmetollaev I. Molekuljarnye markery v ocenke sortov ozimoy mjagkoj pshenicy na nalichie genov ustojchivosti k buroj rzhavchine i septoriozu // Mat. konf. «Dostizhenija i problemy zashhity i karantina rastenij», Ch.2. – Almaty, 2008. – S.142-145.