



ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

В Е С Т Н И К ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2020 ТОМ **103** ВЫПУСК **2**
VOLUME ISSUE



УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ К ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫМ БОЛЕЗНЯМ

А.С. Рсалиев^{1*}, Е.И. Гульятыева², П.Н. Мальчиков³, Е.Л. Шайдаюк²,
Н.М. Коваленко², Д.Р. Яковлева², М.Ж. Байгутов¹

¹Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности,
Гвардейский, Кордайский район, Жамбылская область, Казахстан

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

³Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова,
пгт. Безенчук, Безенчукский район, Самарская область, Россия

* ответственный за переписку, e-mail: aralbek@mail.ru

Листостебельные болезни (ржавчина и пятнистости) вредоносны для яровой твердой пшеницы во всех зонах ее выращивания. Целью исследований являлась иммунологическая оценка 25 перспективных сортов и линий яровой твердой пшеницы к листостебельным болезням в фазе проростков и взрослых растений и идентификация у них генов устойчивости. Изучаемый материал получен из Казахстанско-Сибирской сети улучшения яровой пшеницы (КАСИБ) в 2019 г. Оценку устойчивости к бурой, стеблевой и желтой ржавчинам проводили на инфекционном участке НИИ проблем биологической безопасности (Южный Казахстан), к пиренофорозу – на экспериментальном участке Самарского НИИСХ им. Тулайкова. В фазе проростков изучили устойчивость к географически отдаленным популяциям возбудителей бурой, стеблевой и желтой ржавчины и пиренофороза. Молекулярные маркеры использовали для идентификации генов *Lr*, *Sr*, *Yr* и доминантной аллели гена восприимчивости к пиренофорозу *Tsn1*. В полевых условиях реакцией устойчивости к пиренофорозу и ржавчинам характеризовались линии 1693д-71, 2021д-1, Гордеиформе 1591-21 (Самарский НИИСХ), Д-2165 (НИИСХ ЮВ), Гордеиформе 08-107-5 (СибНИИСХ); к трем видам ржавчины – линия №9 (Карабалыкская СХОС), к двум видам (бурой и стеблевой) – линия Гордеиформе 08-67-1 (СибНИИСХ). У линий Гордеиформе 1591-21, Гордеиформе 08-107-5 и Гордеиформе 08-67-1 устойчивость к болезням в фазе взрослых растений коррелировала с устойчивостью в фазе проростков. Число резистентных к болезням образцов твердой пшеницы в российском материале было выше, чем в казахстанском. С использованием молекулярных маркеров у сортов твердой пшеницы не выявлены гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr19/Sr25*, *Lr20/Sr15*, *Lr21*, *Lr24/Sr24*, *Lr25/Pm7*, *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr34/Sr57*, *Lr35/Sr39*, *Lr37/Sr38/Yr17/Pch2/Cre5*, *Lr41*, *Lr47* и *Sr35*. Доминантная аллель гена восприимчивости к пиренофорозу *Tsn1* идентифицирована у сортов Сояна и Гордеиформе 08-25-2. Образцы твердой пшеницы с групповой устойчивостью к листостебельным болезням могут быть рекомендованы для использования в селекции.

Ключевые слова: *Triticum durum*, бурая ржавчина, стеблевая ржавчина, желтая ржавчина, пиренофороз, *Lr*-гены, *Sr*-гены, *Yr*-гены

Поступила в редакцию: 12.03.2020

Принята к печати: 20.04.2020

Введение

Твердая пшеница (*Triticum durum* Desf) – значимая зерновая культура во многих странах. Посевные площади ее достигают 17 млн. га (Zaim, 2017; Kabbaj, 2017), что составляет 10% от общего объема посевных площадей пшеницы. Казахстан располагает специальными природными зонами для производства твердой пшеницы, обеспечивающими получение зерна отличного качества, отвечающего высокому уровню мировых стандартов. Однако в последние годы в Казахстане значительная часть продовольствия в большом ассортименте импортируется из стран дальнего и ближнего зарубежья, в том числе и макаронные изделия. На твердую пшеницу приходится 8–9% посевных площадей этой культуры, а производство зерна твердых сортов пока не растет. Причиной этому является невысокая урожайность (Аширбаева, 2017). Из-за нехватки высококачественного зерна твердой пшеницы в Казахстане около 80% макаронных изделий получают из сортов мягкой пшеницы (Рсалиев, 2009).

В Российской Федерации твердая пшеница возделывается в Поволжье, Зауралье, Западной Сибири и на

Северном Кавказе, и занимает 8–9% от общего количества посевных площадей, занятых в целом под пшеницей (Гончаров, Курашов, 2018). Наиболее распространена яровая твердая пшеница. До второй мировой войны из 165 млн. га посевов пшеницы в мировом земледелии на долю твердой пшеницы приходилось около 10%. В России в 1940-х гг. посевы *T. durum* превышали 4 млн. га. В послевоенные годы они начали расширяться и достигли максимума в 1966 г. – около 8 млн. га, или 11.4% площадей посева пшеницы в стране. Внедрение продуктивных сортов мягкой пшеницы привело к резкому сокращению посевов яровой твердой как менее урожайной. Это вызвало значительное снижение производства зерна твердой пшеницы, а перерабатывающая промышленность стала использовать зерно мягкой пшеницы, изделия из которой не отличались высоким качеством (Щипак и др., 2012).

Производство твердой пшеницы зачастую лимитировано развитием заболеваний. Листостебельные болезни, к которым относятся бурая (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.), стеблевая (*P. graminis* f.sp. *tritici* Erikss. et

Henn.) и желтая ржавчина (*P. striiformis* West.), септориоз (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl. = *Septoria nodorum*) и пиренофороз (синоним желтая пятнистость) *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler., встречаются на яровой твердой пшенице во многих зонах ее выращивания в России и Казахстане (Kohmetova et al., 2017; Gulyaeva et al., 2020).

Создание устойчивых к грибным заболеваниям сортов пшеницы – наиболее эффективный способ защиты урожая. В целях повышения результативности селекционных программ в России и Казахстане создана Казахстанско-Сибирская сеть улучшения яровой пшеницы (КАСИБ), которая объединила ведущие селекционные и научно-исследовательские учреждения обеих стран. Одна из задач данной программы – расширение генотипического разнообразия и ускорение селекционного процесса, в том числе и по устойчивости к болезням. В селекционных

учреждениях проводятся экологические испытания изучаемого материала на естественных инфекционных фонах. В научно-исследовательском институте проблем биологической безопасности (НИИПББ) и Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР) – участниках программы КАСИБ, исследуемый материал изучается в полевых условиях на искусственных инфекционных фонах болезней и при инокуляции проростков в лабораторных условиях. Наряду с фитопатологическими исследованиями в этих учреждениях проводится молекулярная идентификация генов устойчивости к болезням, что позволяет дать комплексную характеристику нового материала.

Цель исследований – иммунологическая оценка перспективных сортов и линий яровой твердой пшеницы КАСИБ-2019 к листостебельным болезням в фазе проростков и взрослых растений и идентификация у них генов устойчивости.

Материалы и методы

Материал исследований включал 25 образцов яровой твердой пшеницы российской и казахстанской селекции, которые были получены из КАСИБ в 2019 году. Список изучаемого материала представлен в таблице.

Устойчивость в фазе взрослых растений изучали на инфекционном участке НИИПББ (Жамбылская область, пгт. Гвардейский) в 2019 г. в условиях искусственного инфекционного фона. Полевые опыты заложены на орошаемом участке. Почва – серозем аллювиального происхождения, удобренный перегноем. Полевой участок после отвальной вспашки и боронования обрабатывали культиватором SOLO 503. Семена пшеницы сеяли вручную на делянках площадью 0.4 м² с междурядьями 20 см и длиной рядка 100 см, повторность двукратная. В каждый рядок высевали по 50–60 зерен. Для накопления и распространения инфекции в питомнике, между ярусами, сеяли восприимчивые сорта-спредеры, которыми служили Могоссо и Саратовская 29. В полевых экспериментах в качестве инокулюма использовали урединиоспоры сборной казахстанской популяции видов ржавчины из коллекции микроорганизмов НИИПББ. Инокулюм содержал смесь изолятов патогенов, собранных с коммерческих сортов пшеницы в различных регионах Казахстана в 2017–2018 гг. В фазах кушения и трубкования, образцы яровой пшеницы инокулировали водной суспензией спор видов ржавчины с добавлением детергента Твин 80 (Sigma-Aldrich Corp.). После инокуляции делянки накрывали полиэтиленовой пленкой на 16–18 ч. Заражение растений проводили вечером в безветренную погоду после предварительного полива опытных посевов. Пораженность растений учитывали в период максимального развития заболеваний на восприимчивых контрольных сортах пшеницы. В качестве критериев оценки использовали показатели типа реакции (балл) и степень поражения растений (%). Тип инфекции пшеницы на инокуляцию видами ржавчины определяли по шкале Roelfs et al. (1992), где реакция «R» означает устойчивость (Resistant) (балл 0, 0₊, 1), «MR» – умеренная устойчивость (Moderate Resistant) (балл 2), «MS» – умеренная восприимчивость (Moderate Susceptible) (баллы 2–3, X), «S» – восприимчивость (Susceptible) (балл 4). Степень поражения ржавчинными болезнями (в %) оценивали по шкале Peterson et al. (1948). Учет желтой ржавчины проводили в

фазу колошения растений на листьях всех ярусов; листовой ржавчины – в фазу молочно-восковой спелости зерна на верхних двух листьях; стеблевой ржавчины – в фазу восковой спелости зерна на стеблях пшеницы.

Устойчивость образцов твердой пшеницы к *P. tritici-repentis* оценивали на экспериментальном участке Самарского НИИСХ на естественном инфекционном фоне в 2019 г. Для оценки степени поражения использовали шкалу Саари и Прескотт (1975).

В лабораторных условиях в фазе проростков изучили устойчивость твердой пшеницы к возбудителям пиренофороза, бурой, стеблевой и желтой ржавчины. Инфекционный материал *P. triticina* и *P. graminis* был размножен с использованием методики лабораторного культивирования патогенов (Михайлова и др., 1998) и на 8–10 дневных растениях пшеницы, выращенных в сосудах с почвой (Gulyaeva et al., 2020). Для заражения возбудителем желтой ржавчины использовали 12–14 дневные растения. Культуры *P. tritici-repentis* были получены по методике Л.А. Михайловой с соавторами (2012).

Две краснодарских субпопуляции *P. triticina* (с мягкой и твердой пшеницы) были использованы в лабораторных исследованиях. Они различались между собой по вирулентности к линиям Thatcher (TcLr) с генами *Lr2a*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr15* и *Lr17*. Субпопуляция с *T. aestivum* была вирулентна к этим линиям, с *T. durum* – авирулентна. Для заражения стеблевой ржавчиной использованием западно-сибирскую популяцию *P. graminis*, которая характеризовалась авирулентностью к линиям с генами *Sr9g*, *Sr9d*, *Sr17*, *Sr24*, *Sr25*, *Sr24+31*, *Sr24+36*, *Sr30* и *Sr31*. Устойчивость к желтой ржавчине определяли с использованием сборной популяций патогена, полученной с образцов мягкой пшеницы в Краснодарском крае, Новосибирской и Ленинградской областях, и ленинградскую популяцию, собранную на опытном поле ВНИИ генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) с линий твердой пшеницы. Популяция *P. striiformis* с мягкой пшеницы была авирулентна к линиям Avocet с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr26* и сортам-дифференциаторам Мого и Nord Desprez, а популяция с твердой пшеницы дополнительно к линиям *Yr11*, *Yr12* и *Yr17*. Для инокуляции возбудителем пиренофороза использовали смесь изолятов, выделенных из

казахстанских образцов популяций. Используемый инокулюм *P. tritici-repentis* включал расы патогена – 1, 2, 3 и 7. Раса 1 продуцирует экзотоксины *PtrToxA* и *PtrToxC*, раса 2 – *PtrToxA*, раса 7 – *PtrToxA*, *PtrToxB*, раса 3 – *PtrToxC*. Расы с экзотоксином *PtrToxA* индуцируют некроз, с остальными – хлороз. Концентрация суспензии составляла 2–3*10³ конидиоспор/мл.

Лабораторные исследования устойчивости пшеницы к возбудителям пиренофороза, бурой и стеблевой ржавчины проводили в фазе первого листа; к возбудителю желтой ржавчины – в фазе второго листа. Изучаемые образцы опрыскивали водной суспензией спор каждого из патогенов с добавлением детергента Твин 80. Для создания влажной камеры контейнеры с растениями накрывали каркасом с полиэтиленом и выдерживали в темноте в течение 12 ч. при температуре 20 °С – для *P. tritici*, *P. graminis*, *P. tritici-repentis*, и при температуре 10 °С – для *P. striiformis*. Далее растения помещали в климатическую камеру Versatile Environmental Test Chamber MLR-352H («SANYO Electric Co., Ltd.», Япония) с контролируемыми условиями (*P. tritici*, *P. graminis*, *P. tritici-repentis*: температура 20 °С, влажность 70%, освещенность 10000 люкс, фотопериод 16 часов день/ 12 часов ночь; *P. striiformis*: 16 часов освещенность 10000 люкс, температура 16 °С, влажность 70%, 8 часов без освещения, температура 10 °С, влажность 75%).

Учет типа реакции на инокуляцию возбудителями бурой и стеблевой ржавчины проводили через 8–10 дней с помощью шкал Mains, Jackson (1926) и Stakman et al. (1962), соответственно, где балл 0 – отсутствие симптомов; балл 0; – некрозы без пустул; балл 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом (R); балл 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом (MR); балл 3 – пустулы среднего размера без некроза (MS), балл 4 – крупные пустулы без некроза (S), балл X – пустулы на одном и том же листе разных типов, присутствуют хлорозы и некрозы (MS). Растения с баллами 0, 1, 2 относили к устойчивым, 3, 4, X – к восприимчивым. Устойчивость к возбудителю желтой ржавчины оценивали на 18–20 день после заражения по шкале McNeal с соавторами (1971), где балл 0 – отсутствие симптомов; балл 1 – некротические следы; балл 2 – некротические пятна без урединиопустул; баллы 3–4 – слабо спорующие урединиопустулы,

окруженные некрозами и хлорозами; баллы 5–6 – умеренно спорующие урединиопустулы с зоной хлороза и некроза; баллы 7–8 – спорующие урединиопустулы с хлорозом; балл 9 – обильно спорующие пустулы без хлороза. Растения с баллами 0–6 относили к устойчивым, с баллами 7–9 – к восприимчивым. Реакцию к пиренофорозу определяли на 7 день после инокуляции по 5-балльной шкале, характеризующей величину некротических пятен и хлорозов (Lamari, Bernier, 1989; Михайлова и др., 2012). Растения с баллами 1/0, 1/1 относили к устойчивым, 1/ 2, 2/1, 2/2 – средне-устойчивым, 2/3, 2/4 – средне-восприимчивым, 3/2, 3/3, 3/4 – восприимчивым, 4/3, 4/4, 4/5, 5/4, 5/5 – сильно-восприимчивым (над чертой – балл развития некроза, под чертой – балл развития хлороза).

С использованием молекулярных маркеров идентифицировали следующие гены: *Lr1* (маркер WR003) (Qiu et al., 2007), *Lr3* (Xmwg798) (Kunzelet et al., 2000), *Lr9* (SCS5) (Gupta, et al., 2005), *Lr10* (Fi.2245/Lr10-6/r2) (Chelkowski et al., 2003), *Lr19/Sr25* (SCS265) (Gupta et al., 2006), *Lr20/Sr15* (STS638) (Neu et al., 2002), *Lr21(Lr21L/R)* (<https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr21/index.htm>), *Lr24/Sr24* (Sr24#12, Sr24#50) (Mago et al., 2005), *Lr25/Pm7* (Lr25F20/R19) (<https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr25/index.htm>), 1BL.1RS (*Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*)/1AL.1RS (SCM9) (Weng et al., 2007), *Lr28* (SCS421) (Cherukuri et al., 2005), *Lr29* (Lr29F24) (Procurier et al., 1995), *Lr34/Sr57* (csLV34) (Lagudah et al., 2006), *Lr35/Sr39* (Sr39=22) (<https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Lr35/index.htm>), *Lr37/Sr38/Yr17/Pch2/Cre5* (Ventriup/LN2) (Helguera et al., 2003), *Lr41* (GDM35) (Pestsova et al., 2000), *Lr47* (Helguera et al., 2000), *Sr35* (<https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Sr35/index.htm>). Доминантную аллель гена восприимчивости к пиренофорозу *Tsn1* определяли с помощью маркера *Xfcp623*. Продукт амплификации размером 380 п.о. свидетельствовал о наличии у изучаемых образцов пшеницы доминантной аллели гена *Tsn1*, а отсутствие продукта – рецессивной аллели *tsn1* (Faris et al., 2010). ДНК выделяли из листьев 10-дневных проростков пшеницы по методике Дорохова и Клоке (1996). Амплификацию ДНК проводили в реакционной смеси по предложенным в литературе протоколам. Визуализация продуктов амплификации выполнена с использованием электрофореза в 1.5% агарозном геле.

Результаты

Изучение устойчивости в полевых условиях

В полевых условиях Южного Казахстана высокую устойчивость к бурой ржавчине (пораженность 0%) показали линии твердой пшеницы 69-08-2, Гордеиформе 1790, Гордеиформе 08-67-1, Гордеиформе 08-107-5 и Гордеиформе 1591-21. Пораженность до 10% имели сорта Костанайская 15, Гордея, Целинная, линия 1693д-71, а пораженность до 20% – сорта Сояна, Меляна и линии Д-2165, №9, Гордеиформе 895, Гордеиформе 910, Гордеиформе 08-25-2. В целом устойчивостью к бурой ржавчине в полевых условиях характеризовались 64% сортов и линий (табл.). Максимальное поражение наблюдали на сорте Сеймур 17 (60%).

Изученные образцы твердой пшеницы были более восприимчивы к стеблевой ржавчине. 32% сортов и линий характеризовались разной степенью устойчивости. У линии

Гордеиформе 08-107-5 не выявлено симптомов болезни (табл.). Линии 250-06-14 и Гордеиформе 08-67-1 имели поражение до 5%; линии 1693д-71, 2021д-1, Д-2165, Гордеиформе 924 – до 10%; линии №9, Гордеиформе 1591-21 – до 20%. Наибольшее поражение стеблевой ржавчиной отмечено у сорта Костанайская 15 (80%).

Число образцов, устойчивых к бурой и стеблевой ржавчине, в российском материале было выше, по сравнению с казахстанским.

Пораженность изучаемого материала желтой ржавчиной варьировала от 0% (линия 2021д-1) до 40% (Янтарная 60, Безенчукская 139, Гордея). Умеренной устойчивостью характеризовался сорт Целинная (пораженность до 5%). Образцы твердой пшеницы Р-1409, Сеймур 17, Костанайская 15, Меляна, Гордеиформе 1790, Гордеиформе 910, Гордеиформе 895, Гордеиформе 08-25-2, Гордеиформе

Таблица. Устойчивость образцов яровой твердой пшеницы к листовостебельным болезням в фазе проростков и взрослых растений

№	Образец	Оригинатор	Пораженность болезнями в полевых условиях (%) и тип реакции *				Устойчивость в фазе проростков (балл)					
			Южный Казахстан, 2019 г.			Самарская обл. пиренофороз	бурая ржавчина		стеблевая ржавчина	желтая ржавчина		пиренофороз
			бурая ржавчина	стеблевая ржавчина	желтая ржавчина		п_Та	п_Td		п_Та	п_Л_Td	
1.	Р-1409	Актюбинская СХОС	40MR ^a	40MR	10MR	30	0-1;	2	4	1-2	5	3/3
2.	Сояна	Актюбинская СХОС	20MR	40MR	20MR	40	1	3	3	0-1	5-6	4/4
3.	Янтарная 60	Актюбинская СХОС	50S	30MR	40MR-MS	25	1-2;	1-2	3	7	8	2/3
4.	Сеймур 17	КазНИИЗиР	60S	50S	10MR	40	1;	3	3	5-6	6	-
5.	Серке	КазНИИЗиР	30MR	30MR	20MR-MS	100	1-2;	3-	3-4	7	6-7	3/3
6.	Линия 69-08-2	НПЦЗХ им. А.И.Бараева	0	60S	30MS	80	1-2;	3	3-4	7	6-7	3/3
7.	Линия 250-06-14	НПЦЗХ им. А.И.Бараева	40MS	5R	20MR	20	0	3	0-1	7-8	7	3/3
8.	Костанайская 15	Карабалыкская СХОС	10MR	80S	10MR	20	0	1-2	4	7	7	2/2
9.	Гордеиформе 1790	Карабалыкская СХОС	0	60S	10MR	35	0;	2	3	1	5	2/2
10.	Линия №9	Карабалыкская СХОС	20MR	20MR	10R	50	0-1;	0-1	4	7-8	6-7	-
11.	Безенчукская 139	Межстанционный ст-т	50MS	50S	40MS	30	1-2	2 ⁺	3	1	6-7	-
12.	Гордеиформе 895	Алтайский НИИСХ	20MR	40MS	10MR	50	0-1;	0-1;	3	7	6-7	1,2/2
13.	Гордеиформе 910	Алтайский НИИСХ	20MR	60S	10MR	20	0-1	0-1;	-	5-6	5-6	1/1
14.	Гордеиформе 924	Алтайский НИИСХ	50MS	10MR	20MR	15	0-1;	0-1	3-4	0	7-8	3/3
15.	Гордеиформе 08-25-2	СибНИИСХ	20MR	30MR	10MR	80	0-1;	3	3-4	7	7	4/4
16.	Гордеиформе 08-67-1	СибНИИСХ	0	5R	30MR-MS	60	0-1;	1-2	1-2;	7	7	2/2
17.	Гордеиформе 08-107-5	СибНИИСХ	0	0	10MR	15	0-2	2 ⁺	1-2;	7	7	2/2
18.	Линия 1693д-71	Самарский НИИСХ	10R	10R	10MR	10	0-1;	1-2	3	7	7	3/4
19.	Линия 1970д-5	Самарский НИИСХ	30MR-MS	30MR	0	10	1-2	2 ⁺ -3	2-3	7-8	7	-
20.	Линия 2021д-1	Самарский НИИСХ	20MR	10R	10MR	10	2	3	3-4	7	6-7	3/3
21.	Гордеиформе 1591-21	Самарский НИИСХ	0	20MR	10MR	5	0-1;	1-2	0-1;	7	7-8	2/2
22.	Линия Д-2165	НИИСХ Юго-Востока	20MR	10R	10MR	5	1;	1-2	4	1-2	5-6	2/2
23.	Гордея	Оренбургский НИИСХ	10R	30MS	40MR-MS	80	1;	2;	4	7-8	7	3/3
24.	Целинная	Оренбургский НИИСХ	10R	30MR	5R	20	0-1;	2	4	7	7	3/3
25.	Меляна	Оренбургский НИИСХ	20MR	40MS	10R	25	1-2	1-2	4	0	7	3/3

Сокращения в шапке таблицы: п_Та – сборная краснодарская популяция *P. trititica* с мягкой пшеницы; п_Td – сборная краснодарская популяция *P. trititica* с твердой пшеницы; п_Та – сборная популяция *P. striiformis* с мягкой пшеницы, п_Л_Td – ленинградская популяция *P. striiformis* с твердой пшеницы.

-/- некроз/хлороз к *P. tritici-repentis*; - не анализировали.

* Тип реакции: R – устойчивый, MR – умеренно устойчивый, MS – умеренно восприимчивый, S – восприимчивый.

08-107-5, Гордеиформе 1591-21, линии №9, 1693д-71, 2021д-1, Д-2165 показали умеренную восприимчивость (пораженность до 10%).

В условиях Самарской области в 2019 г. высоким уровнем устойчивости к пиренофорозу (пораженность до 5%) характеризовались 2 линии: Д-2165 и Гордеиформе 1591-21. Линии 1693д-71, 1970д-5, 2021д-1, Гордеиформе 924, Гордеиформе 08-107-5 имели поражение от 10 до 15% и относились к группе умеренно устойчивых. К группе средневосприимчивых относились линии Р-1409, 250-06-14, Гордеиформе 910 и сорта Янтарная 60, Костанайская

15, Безенчукская 139, Целинная, Меляна. Развитие болезни на них варьировало от 20 до 30%. Максимальная пораженность (100%) отмечена на сорте Серке.

В результате полевой оценки выявлены образцы с групповой устойчивостью к трем видам ржавчины и пиренофорозу (линии 1693д-71, 2021д-1, Д-2165, Гордеиформе 08-107-5, Гордеиформе 1591-21) (табл.). Эта группа включала 20% образцов от общего числа изученных. Линия №9 характеризовалась устойчивостью к бурой, стеблевой и желтой ржавчине, а линия Гордеиформе 08-67-1 – к бурой и стеблевой ржавчине.

Лабораторные исследования устойчивости
в фазе проростков

Все образцы твердой пшеницы характеризовались устойчивой реакцией (балл 0, 1 2) при заражении краснодарской популяцией возбудителя бурой ржавчины, собранной с мягкой пшеницы (табл.). При инокуляции популяцией патогена с твердой пшеницы у 8 линий отмечена реакция восприимчивости. Таким образом, изоляты патогена с твердой пшеницы сильнее поражают сорта *T. durum*, чем изоляты с *T. aestivum*. Для большинства образцов устойчивость к бурой ржавчине в фазе проростков коррелировала с устойчивостью в полевых условиях, за исключением линий 69-08-2 и 2021д-1. У сортов Янтарная 60, Безенчукская 139 и линии Гордеиформе 924 наблюдали резистентность к болезни в фазе проростков и восприимчивость в фазе взрослых растений.

В фазе проростков, как и в полевых условиях, образцы твердой пшеницы сильнее поразились стеблевой ржавчиной. Устойчивую реакцию (баллы 0-1, 2) к западносибирской популяции *P. graminis* показали 16% изученных линий. К ним относились Гордеиформе 08-67-1, Гордеиформе 08-107-5, Гордеиформе 1591-21 и линия 250-06-14. Для линий 250-06-14, Гордеиформе 08-67-1, Гордеиформе 08-107-5 и Гордеиформе 1591-21 результаты изучения в фазе проростков коррелировали с полученными в полевых условиях. Это указывает на присутствие у этих линий высокоэффективных *Sr*-генов. Линии 250-06-14, 1693д-71, Д-2165, 2021д-1 и Гордеиформе 924, устойчивые в полевых условиях, были восприимчивы в фазе проростков, что предполагает возрастную устойчивость к стеблевой ржавчине у этих форм.

Устойчивость к популяциям возбудителя желтой ржавчины (с мягкой и твердой пшеницы) показали 24% образцов (линии Р-1409, Д-2165, Гордеиформе 1790, Гордеиформе 910, Сояна, Сеймур 17) (табл.). Сорт Меляна и линия Гордеиформе 924 были резистентными при заражении сборной популяцией *P. striiformis* с мягкой пшеницы, но показали восприимчивость к ленинградской популяции с твердой пшеницы. Аналогичные результаты получены в анализе с бурой ржавчиной. Это указывает на то, что инокулом патогена, собранный с твердой пшеницы, сильнее поражает образцы *T. durum*, чем инокулом с мягкой пшеницы. Это следует учитывать при проведении

иммунологических исследований. Устойчивость к желтой ржавчине в фазе проростков для линий № 9, Д-2165, Р-1409, Гордеиформе 910 и сорта Сеймур 17 коррелировала с результатами полевых исследований.

Реакцию устойчивости (баллы 0, 1, 2) к сборной казахстанской популяции пиренофороза показали сорта Янтарная 60, Костанайская 15 и линии Д-2165, Гордеиформе 1790, Гордеиформе 895, Гордеиформе 910, Гордеиформе 08-67-1, Гордеиформе 08-107-5, Гордеиформе 1591-21. Среди них сорта Янтарная 60, Костанайская 15 и линии 1693д-71, Д-2165, Гордеиформе 910, Гордеиформе 08-107-5, Гордеиформе 1591-21 были также устойчивы в полевых условиях Самарской области.

Идентификация генов устойчивости с использованием
молекулярных маркеров

С использованием молекулярных маркеров у изучаемых сортов твердой пшеницы не выявлены гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr19/Sr25*, *Lr20/Sr15*, *Lr21*, *Lr24/Sr24*, *Lr25/Pm7*, *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr34/Sr57*, *Lr35/Sr39*, *Lr37/Sr38/Yr17/Pch2/Cre5*, *Lr41*, *Lr47* и *Sr35*. Таким образом, *Lr* и *Sr* гены у устойчивых к ржавчинам образцов яровой твердой пшеницы отличаются от идентифицируемых.

С использованием маркера *Xfcp623* доминантная аллель гена восприимчивости к пиренофорозу *Tsn1* выявлена у двух образцов твердой пшеницы Сояна и Гордеиформе 08-25-2 (рис.).

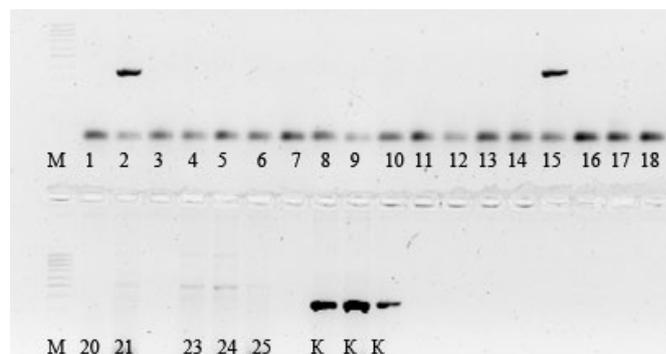


Рисунок. Электрофореграмма ПЦР с маркером *Xfcp623* доминантной аллели гена восприимчивости к пиренофорозу *Tsn1*.

М – маркер молекулярной массы,
1–25 – номера проб согласно списку в таблице.
К – положительный контроль, сорт Glenlea

Обсуждение

В иммунологических исследованиях в фазе проростков и взрослых растений выделены образцы твердой пшеницы, устойчивые к отдельно взятой и к нескольким болезням (групповая устойчивость). Большинство изученных сортов и линий (64%) характеризовались реакцией резистентности к бурой ржавчине. Число образцов, устойчивых к стеблевой или желтой ржавчине было существенно ниже (16% и 12%, соответственно). Полученные сведения согласуются с утверждением, что *T. durum* более устойчив к бурой ржавчине, чем к стеблевой и желтой ржавчинам (Дорофеев и др., 1979).

Результаты молекулярного анализа в данной работе указывают на отсутствие у перспективного материала твердой пшеницы КАСИБ-2019 известных генов устойчивости к ржавчинам (*Lr1*, *Lr3*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr19/Sr25*, *Lr20/*

Sr15, *Lr21*, *Lr24/Sr24*, *Lr25/Pm7*, *Lr26/Sr31/Yr9*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr34/Sr57*, *Lr35/Sr39*, *Lr37/Sr38/Yr17*, *Lr41*, *Lr47*, *Sr35*). Можно предположить, что устойчивые образцы *T. durum* могут быть защищены новыми генами, либо другими известными, для которых не подобрано молекулярных маркеров, что лимитирует проведение их идентификации.

Генетика устойчивости *T. durum* к болезням изучена хуже в сравнении с *T. aestivum* (Kolmer, 1996). От твердой пшеницы в мягкую пшеницу перенесены гены устойчивости к бурой (*Lr14a*, *Lr23*), стеблевой (*Sr12*) ржавчинам и мучнистой росе (*Mld* и *Pm3d*) (McIntosh et al., 1995). Предполагается, что ген *Lr23*, определенный у сорта мягкой пшеницы Gaza, имеет широкое распространение в сортах твердой пшеницы (McIntosh, Dyck 1975; Nelson et al., 1997). И.Г. Одинцова и соавторы (1982) определили,

что многие устойчивые образцы яровой твердой пшеницы из коллекции ВИР, имеющие широкое географическое происхождение, защищены геном *Lr23*. К сожалению, отсутствие молекулярного маркера для данного гена не позволило провести его идентификацию у материала КАСИБ. Наряду с геном *Lr23* у сортов *T. durum* зарубежной селекции выявлена широкая представленность генов *Lr1*, *Lr2*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr16*, *Lr17a*, *Lr27+Lr31*, *Lr46*, *Lr47*, *Lr52*, *Lr61*, *Lr64* и *Lr72* (Zhang, Knott 1990; Singh et al., 1993; Dyck, 1994; Dubcovsky et al., 1998; Aguilar-Rincon et al., 2001; Herrera-Foessel et al., 2007, 2008b, 2011, 2014; McIntosh et al., 2009; Singh et al., 2010). Результаты молекулярного анализа в данной работе указывают на отсутствие генов *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr47* у изученного материала КАСИБ-2019.

В данных исследованиях аллель гена восприимчивости к пиренофорозу *Tsn1* выявлена только у сортов Сояна и Гордеиформе 08-25-2. Эти образцы сильно поражались в фазе проростков при инокуляции казахстанской популяцией *P. tritici-repentis* (балл 4), т.е. взаимодействие в патосистеме «растение-хозяин» осуществлялось по типу гена-гена. В полевых условиях сорт Сояна характеризовался

средним поражением (40%), а линия Гордеиформе 08-25-2 – высоким (80%). Поражение в фазе проростков и взрослых растений остальных изучаемых сортов указывает на наличие у них других генов.

Наибольшую ценность для фитосанитарной стабилизации с болезнями в производственных условиях представляют сорта пшеницы с групповой устойчивостью. В данных исследованиях выделены линии яровой твердой пшеницы с устойчивостью к комплексу листостебельных болезней. В полевых условиях реакцией устойчивости к пиренофорозу и ржавчинам характеризовались линии 1693д-71, 2021д-1, Д-2165, Гордеиформе 08-107-5, Гордеиформе 1591-21. Линия №9 была устойчива к трем видам ржавчины, а линия Гордеиформе 08-67-1 – к двум (бурой и стеблевой). У линий Гордеиформе 1591-21, Гордеиформе 08-107-5 и Гордеиформе 08-67-1 устойчивость к болезням в фазе взрослых растений коррелировала с устойчивостью в фазе проростков. Образцы твердой пшеницы с эффективной групповой устойчивостью к ржавчинам и пиренофорозу могут быть рекомендованы для использования в селекционных программах в качестве доноров.

Заключение

Высокие темпы изменчивости патогена предопределяют необходимость поиска новых доноров устойчивости для селекции твердой пшеницы во всем мире. В результате проведенных исследований охарактеризована устойчивость коллекции твердой пшеницы КАСИБ-2019 к комплексу листостебельных болезней. Выделены образцы с групповой устойчивостью к ржавчинам и пиренофорозу.

С использованием молекулярных маркеров проведена идентификация *Lr*, *Sr* и *Yr* генов. У изученных образцов твердой пшеницы не выявлено ни одного из идентифицируемых генов. Выделенные линии яровой пшеницы с групповой устойчивостью к болезням могут быть рекомендованы для селекции в качестве доноров в России и Казахстане.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках программы грантового финансирования на 2018–2020 гг. (грант № AP05132236) и Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования на 2018–2020 гг. (ИРН BR0649329).

Библиографический список (References)

- Аширбаева СА (2017) Селекция твердой пшеницы. *Аграрный журнал БОСС* 2(126):18–22. <https://bossagro.kz/wp-content/uploads/boss-agro-02-2017.pdf>
- Гончаров СВ, Курашов МЮ (2018) Перспективы развития российского рынка твердой пшеницы. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета* 2(57):66–75. <http://www.doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.66>
- Дорофеев ВФ, Филатенко АА, Мигушова ЭФ, Удачин РА, Якубцинер ММ (1979) Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница. Л.: «Колос». 348с.
- Дорохов ДБ, Клоке Э (1997) Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов. *Генетика* 33(4):443–450.
- Михайлова ЛА, Гулятьева ЕИ, Мироненко НВ (1998) Методы исследований структуры популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы. *Сборник методических рекомендаций по защите растений*. СПб.: ВИЗР. 105–126.
- Михайлова ЛА, Мироненко НВ, Коваленко НМ (2012) Желтая пятнистость пшеницы. *Методические указания по изучению популяций возбудителя желтой пятнистости *Puccinia tritici-repentis* и устойчивости сортов*. СПб.: ВИЗР. 56 с.
- Одинцова ИГ, Кривченко ВИ, Григорьева ОГ (1982) Устойчивые к бурой ржавчине образцы яровой пшеницы с предварительной генетической характеристикой. *Каталог мировой коллекции ВИР* 62:78 с.
- Рсалиев АС (2009) Устойчивость сортообразцов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf) к ржавчинным болезням. Автореф. дисс. ... к.с.-х.н. Алматы: Алмалыбак. 26 с.
- Щипак ГВ, Недоступов РА, Щипак ВГ (2012) Селекция озимой твердой пшеницы на повышение адаптивного потенциала и урожайности. *Вавиловский журнал генетики и селекции* 16(2):455–463.
- Aguilar-Rincon VH, Singh RP, Castillo-Gonzalezand F, Huerta-Espino J (2001) Genes of leaf rust resistance in a synthetic hexaploid wheat. *Rev Fitotec Mex* 24(2):161–169.
- Chelkowski J, Golka L, Stepień L (2003) Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher. *J Appl Genet* 44(3):323–338.
- Cherukuri DP, Gupta SK, Charpe A, Koul S et al (2005) Molecular mapping of *Aegilops speltoides* derived leaf rust resistance gene *Lr28* in wheat. *Euphytica* 143(1):19–26. <http://www.doi.org/10.1007/s10681-005-1680-6>
- Dubcovsky J, Lukaszewski AJ, Echaide M, Antonelli EF, Porter DR (1998) Molecular characterization of two *Triticum speltoides* interstitial translocations carrying leaf rust and greenbug resistance genes. *Crop Sci* 38(6):1655–1660. <http://www.doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800060040x>
- Dyck PL (1994) The transfer of leaf rust resistance from *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* to hexaploid wheat. *Can J Plant Sci* 74(4):671–673. <https://doi.org/10.4141/cjps94-12>
- Faris JD, Zhang ZC, Lu HJ, Lu SW et al (2010) A unique wheat disease resistance-like gene governs effector-triggered susceptibility to necrotrophic pathogens. *Proc Natl Acad Sci* 107(30):13544–13549. <http://doi.org/10.1073/pnas.1004090107>
- Gulyaeva E, Yusov V, Rosova M, Malchikov P, Shayayuk E, Kovalenko N, Wanyera R, Morgounov A, Yskakova G, Rsaliyev A.

- (2020) Evaluation of resistance of spring durum wheat germplasm from Russia and Kazakhstan to fungal foliar pathogens. *Cereal research communications*. 48:71–79. <https://doi.org/10.1007/s42976-019-00009-9>
- Gupta SK, Charpe A, Koul S, Prabhu KV, Haq QM (2005) Development and validation of molecular markers linked to an *Aegilops umbellulata*-derived leaf rust resistance gene, *Lr9*, for marker-assisted selection in bread wheat. *Genome* 48(5):823–830. <http://www.doi.org/10.1139/G05-051>
- Gupta SK, Charpe A, Prabhu KW, Haque OMR (2006) Identification and validation of molecular markers linked to the leaf rust resistance gene *Lr19* in wheat. *Theor Appl Genet* 113(6):1027–1036. <http://www.doi.org/10.1007/s00122-006-0362-7>
- Helguera M, Khan I A, Dubcovsky J (2000) Development of PCR markers for wheat leaf rust resistance gene *Lr47*. *Theor Appl Genet* 100(7):1137–1143. <http://www.doi.org/10.1007/s001220051397>
- Helguera M, Khan IA, Kolmer J, Lijavetzky D et al (2003) PCR assays for the *Lr37-Yr17-Sr38* cluster of rust resistance genes and their use to develop isogenic hard red spring wheat lines. *Crop Science* 43(5):1839–1847. <http://www.doi.org/10.2135/cropsci2003.1839>
- Herrera-Foessel S, Singh RP, Huerta-Espino J, William M et al (2007) Identification and mapping of *Lr3* and a linked leaf rust resistance gene in durum wheat. *Crop Science* 47(4):1459–1466. <http://www.doi.org/10.2135/cropsci2006.10.0663>
- Herrera-Foessel S, Singh RP, Huerta-Espino J, William M et al (2008) Molecular mapping of a leaf rust resistance gene on the short arm of chromosome 6B of durum wheat. *Plant Dis* 92(12):1650–1654. <http://www.doi.org/10.1094/PDIS-92-12-1650>
- Herrera-Foessel SA, Lagudah ES, Huerta-Espino J, Hayden M et al (2011) New slow rusting leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr67* and *Yr46* are pleiotropic or closely linked. *Theor Appl Genet* 122(1):239–249. <http://www.doi.org/10.1007/s00122-010-1439-x>
- Herrera-Foessel SA, Huerta-Espino J, Calvo-Salazar V, Lan CX, Singh RP (2014) *Lr72* confers resistance to leaf rust in durum wheat cultivar Atil C2000. *Plant Dis* 98(5):631–635. <http://www.doi.org/10.1094/PDIS-07-13-0741-RE>
- Kolmer JA (1996) Genetics of resistance to wheat leaf rust. *Annu Rev Phytopathol* 34:435–455.
- Kokhmetova, A, Kremneva O, Volkova G, Atishova M, Sapakhova Z (2017) Evaluation of wheat cultivars growing in Kazakhstan and Russia for resistance to tan spot. *J Plant Pathology*. 99(1):161–167. <http://www.doi.org/10.4454/jpp.v99i1.3812>
- Kunzel G, Korzun L, Meister A (2000) Cytologically integrated physical restriction fragment length polymorphism maps for the barley genome based on translocation breakpoints. *Genetics* 154(1): 397–412.
- Lagudah ES, McFadden H, Singh RP, Huerta-Espino J et al (2006) Molecular genetic characterization of the *Lr34/Yr18* slow rusting resistance gene region in wheat. *Theor Appl Genet* 114:21–30. <http://www.doi.org/10.1007/s00122-006-0406-z>
- Lamari L, Bernier CC (1989) Evaluation of wheat lines and cultivars to tan spot [*Perynophora tritici-repentis*] based on lesion type. *Can J Plant Sci* 11(1):49–56.
- Mago R, Bariana HS, Dundas IS (2005) Development of PCR markers for the selection of wheat stem rust resistance genes *Sr24* and *Sr26* in diverse wheat germplasm. *Theor Appl Genet* 111: 496–504 <http://www.doi.org/10.1007/s00122-005-2039-z>
- Mains EB, Jackson HS (1926) Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Erikss. 16:89–120.
- McIntosh RA, Dubcovsky J, Rogers WJ, Morris C et al (2009) Catalogue of gene symbols for wheat: 2009 supplement <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2009.pdf>
- McIntosh RA, Dyck PL (1975) Cytogenetical studies in wheat. VII Gene *Lr23* for reaction to *Puccinia recondita* in Gabo and related cultivars. *Aust J Sci* 28:201–211.
- McIntosh RA, Wellings CR, Park RF (1995) Wheat rusts. An atlas of resistance genes. CSIRO Australia, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands.
- McNeal FH, Konzak CF, Smith EP, Tate WS et al (1971) A uniform system for recording and processing cereal research data. *US Dept Agric Res Serv ARS* 34:121–43.
- Nelson JC, Singh RP, Autrique JE, Sorrells ME (1997) Mapping genes conferring and suppressing leaf rust resistance in wheat. *Crop Sci* 37(6):1928–1935. <http://www.doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700060043x>
- Neu C, Stein N, Keller B (2002) Genetic mapping of the *Lr20-Pm1* resistance locus reveals suppressed recombination on chromosome arm 7AL in hexaploid wheat. *Genome* 45(4):737–744 <http://www.doi.org/10.1139/g02-040>
- Pestsova E, Ganai MW, Röder MS (2000) Isolation and mapping of microsatellite markers specific for the D genome of bread wheat. *Genome* 43(4):689–697. <https://doi.org/10.1139/g00-042>
- Peterson RF, Campbell AB, Hannah AE (1948) A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canad J Res* 26(5):496–500. <https://doi.org/10.1139/cjr48c-033>
- Procnier JD, Townley-Smith TF, Fox S, Prashar S et al (1995) PCR-based RAPD/DGGE markers linked to leaf rust resistance genes *Lr29* and *Lr25* in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Genet Breed* 49:87–92.
- Saari EE, Prescott JM (1975) A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Dis Rep* 59:377–380
- Qiu JW, Schürch AC, Yahiaoui N, Dong LL et al (2007) Physical mapping and identification of a candidate for the leaf rust resistance gene *Lr1* of wheat. *Theor Appl Genet* 115:159–168 <http://www.doi.org/10.1007/s00122-007-0551-z>
- Roelfs A., Singh R., Saari EE (1992) Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT, Mexico. 1992. 45.
- Singh B, Bansal UK, Forrest KL, Hayden MJ, Hare RA, Bariana HS (2010) Inheritance and chromosome location of leaf rust resistance in durum wheat cultivar Wollaroi. *Euphytica* 175:351–355. <https://www.doi.org/10.1007/s10681-010-0179-y>
- Singh R, Bechere E, Abdalla O (1993) Genetic analysis of resistance to leaf rust in nine durum wheats. *Plant Dis* 77(5):460–463. <https://www.doi.org/10.1007/s11032-009-9268-9>
- Stakman EC, Stewart DM, Loegering WQ (1962) Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. *United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service* 617:53. <https://ufdc.ufl.edu/AA00024889/00001>
- Weng Y, Azhaguvel P, Devkota RN, Rudd JC (2007) PCR based markers for detection of different sources of 1AL.1RS and 1BL.1RS wheat-rye translocations in wheat background. *Plant Breed*. 126(5):482–486. <http://www.doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x>
- Zaim M., Hassouni Kh El, Gamba F, Filali-Maltouf A et al (2017) Wide crosses of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) reveal good disease resistance, yield stability, and industrial quality across Mediterranean sites. *Field Crop Res* 214:219–227. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.007>
- Zhang H, Knott DR (1993) Inheritance of adult plant resistance to leaf rust in six durum wheat cultivars. *Crop Sci* 33(4):694–697. <http://www.doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300040010x>
- Stakman EC, Stewart DM, Loegering WQ (1962) Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. *United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service* 617:53. <https://ufdc.ufl.edu/AA00024889/00001>

Translation of Russian References

- Ashirbayeva SA (2017) [Selection of durum wheat]. *Agrarniy zhurnal BOSS* 2(126):18–22. <https://bossagro.kz/wp-content/uploads/boss-agro-02-2017.pdf> (in Russian)
- Dorofeyev VF, Filatenko AA, Migushova EF, Udachin RA, Yakubtsiner MM (1979) *Kulturnaya flora SSSR. Pshenitsa*

- [Cultural flora of the USSR. Wheat]. Leningrad: «Kolos». 348p. (in Russian)
- Dorohov DB, Kloke Eh (1997) [Rapid and economical technology of RAPD analysis of plant genomes]. *Genetika* 3(4):443–450 (in Russian)
- Goncharov SV, Kurashov MYu (2018) [Prospects for the development of the Russian durum wheat market]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* 2(57):66–75 (in Russian) <http://www.doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.66>
- Mikhaylova LA, Gulyaeva EI, Mironenko NV (1998) *Metody issledovaniy struktury populyatsii vozбудitelya buroy rzhavchiny pshenitsy* [Methods for studying the structure of populations of the leaf rust causative agent]. *Sbornik metodicheskikh rekomendatsiy po zashchite rasteniy* [Guidelines for the protection of plants]. St. Petersburg: VIZR. 105–126 (in Russian) Mikhaylova LA, Mironenko NV, Kovalenko NM (2012) *Zheltya pyatnistost pshenitsy* [Yellow spot of wheat]. *Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu populyatsiy vozбудitelya zheltoy pyatnistosti Pyrenophora tritici-repentis i ustoychivosti sortov* [Guidelines for the study of yellow spotted pathogen populations *Pyrenophora tritici-repentis* and resistance of varieties]. St. Petersburg: VIZR. 56 p. (in Russian)
- Odintsova IG., Krivchenko VI., Grigoryev OG (1982) *Ustoychivyye k buroy rzhavchine obraztsy yarovoy pshenitsy s predvaritelnoy geneticheskoy kharakteristikoy* [Leaf rust resistant spring wheat specimens with preliminary genetic characterization] *Katalog mirovoy kolleksii VIR* [VIR World Collection Catalog]. 62:78 p. (in Russian)
- Shchipak GV, Nedostupov RA, Shchipak VG (2012) [Breeding durum winter wheat for improvement of adaptive potential and yield]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* 16(2):455–463.

Plant Protection News, 2020, 103(2), p. 105–112

OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-2-13334>

Full-text article

RESISTANCE OF PERSPECTIVE SPRING DURUM WHEAT ACCESSIONS TO FOLIAR DISEASES

A.S. Rsaliyev^{1*}, E.I. Gulyaeva², P.N. Malchikov³, E.L. Shaydayuk², N.M. Kovalenko²,
D.R. Yakovleva², M.Zh. Baygutov¹

¹The Research Institute for Biological Safety Problems, Gvardeiskiy, Kordaiskiy Rayon, Zhambylskaya Oblast, Kazakhstan

²All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

³Samara Research Institute of Agriculture, Samara, Russia

*corresponding author, e-mail: aralbek@mail.ru

Foliar diseases (rust and spot) are harmful for durum wheat in all areas of its cultivation. The research aimed to evaluate 25 promising durum wheat varieties and lines for resistance to foliar and stem diseases at the seedling and adult plant stages, and to identify their resistance genes. The studied material was obtained from the Kazakhstan-Siberian Network on Spring Wheat Improvement (KASIB) in 2019. Resistance to leaf, stem, and yellow rusts was assessed at the infectious site of the Research Institute for Biological Safety Problems (South Kazakhstan). Resistance assessment to the causative agent of the tan spot was held at the experimental field of the Samara Research Institute of Agriculture named after Tulaykov. At the seedling stage, resistance to leaf, stem and yellow rusts and tan spot pathogen populations was evaluated. Molecular markers were used to identify the *Lr*, *Sr*, *Yr*- genes and the dominant allele of the *Tsn1* susceptibility gene to tan spot. The lines 1693d-71, 2021d-1, Hordeiforme 1591-21 (Samara Research Institute of Agriculture), D-2165 (Agricultural Research Institute for South-East Regions), Hordeiforme 08-107-5 (Siberian research institute of plant cultivation and breeding), were characterized by the resistance to rusts and tan spot in the field. Line №9 (Karabalyk agricultural experiment station) was resistant to three rust species, and line Hordeiforme 08-67-1 (Siberian research institute of plant cultivation and breeding) to leaf and stem rust. For Hordeiforme 1591-21, Hordeiforme 08-107-5 and Hordeiforme 08-67-1 lines, resistance to leaf and stem rusts and tan spot in the field experiment correlated with resistance in the seedling stage. The number of disease-resistant durum wheat accessions among Russian material was higher than in Kazakhstan. The following genes were not found in the studied durum wheat varieties using the molecular markers: *Lr1*, *Lr3*, *Lr9*, *Lr10*, *Lr19* / *Sr25*, *Lr20* / *Sr15*, *Lr21*, *Lr24* / *Sr24*, *Lr25* / *Pm7*, *Lr26* / *Sr31* / *Yr9* / *Pm8*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr34* / *Sr57*, *Lr35* / *Sr39*, *Lr37* / *Sr38* / *Yr17* / *Pch2* / *Cre5*, *Lr41*, *Lr47* and *Sr35*. The dominant allele of the *Tsn1* susceptibility gene to tan spot was detected in Soyana and Hordeiforme 08-25-2 durum wheat accessions. Resistant accessions of durum wheat can be recommended for the disease resistance breeding in Russia and Kazakhstan.

Keywords: *Triticum durum*, leaf rust, stem rust, yellow rust, tan spot, *Lr*-genes, *Sr*-genes, *Yr*-genes

Received: 12.03.2020

Accepted: 20.04.2020