Archive of SID

مقاومت نسبی برخی از ارقام و لاین‌های منتخب گندم نسبت به بیماری زنگ سیاه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)

صفرعلی صفوی*[1] و علی ملیحی پور[2]

۱ - *نویسنده مسوول: بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل،ایران (Safaralisafavi@yahoo.com)

۲ - بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۸

چکیده

نبود مقاومت پایدار در ارقام گندم، دلیل اصلی همه گیری‌های زنگ ساقه (سیاه) است که می‌تواند تولید گندم در برخی از نقاط جهان را محدود کند. در این مطالعه به منظور تشخیص منابع احتمالی دارای مقاومت نسبی نسبت به زنگ سیاه، که نوعی مقاومت پایدار و غیر اختصاص- نژادی است، شاخص‌های مقاومت نسبی شامل ضریب آلودگی (CI)، شدت نهایی بیماری (FDS)، نرخ آلودگی ظاهری (*r*) و مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) در ۲۶ ژنوتیپ گندم همراه با شاهد حساس (مخلوط رقم McNair و لاین CD-90-12) طی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه آزمایشی ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق اردبیل ارزیابی شدند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها در مزرعه تحت شرایط آلودگی طبیعی و در برابر جمعیت پاتوتیپ دارای پرآزاری برای ژن‌های مقاومت *Sr25*، *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr9f*، *Sr9e*،*Sr13*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr37*، *SrDP2*، *SrGT*، *SrPL*، *SrWLD*، *SrH* و *SrTmp* انجام شد. واکنش گیاهچه‌ای نیز در شرایط گلخانه در برابر پاتوتیپ‌های TKTTF (دو جدایه) و TTTTF انجام شد. بر اساس آن، ارقام گاسکوژن، MV17 و گنبد مقادیر پایینی از CI، FRS، *r* و rAUDPC را نشان دادند و به عنوان گروه دارای سطح مطلوب مقاومت نسبی (تدریجی) در نظر گرفته شدند. نه رقم یا لاین مقادیر متوسطی از شاخص‌های مقاومت به زنگ ساقه را نشان دادند و به عنوان لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت نسبی برای زنگ ساقه در نظر گرفته شدند. شش رقم یا لاین نیز دارای سطح پایین مقاومت نسبی و بقیه ژنوتیپ‌ها در گروه لاین‌های حساس و بدون هیچ نوع مقاومت نسبی گروه‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های زارع، گاسکوژن، گنبد، N-91-9 و N-93-15 با توجه به واکنش گیاهچه‌ای حساس (حداقل در برابر یک پاتوتیپ) و واکنش نیمه مقاوم (MR) تا نیمه حساس (MS) در مرحله گیاه بالغ به احتمال زیاد دارای تعداد ژن مقاومت نسبی بیشتری در برابر عامل بیماری هستند. ژنوتیپ‌های دارای سطح مطلوب و متوسط مقاومت نسبی که در این مطالعه تشخیص داده شدند می‌توانند برای معرفی رقم کاندید شده یا در برنامه‌های به‌نژادی گندم نسبت به زنگ ساقه استفاده شوند.

کلیدواژه‌ها: گندم، زنگ سیاه، پاتوتیپ، مقاومت نسبی، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گندم یکی از مهمترین محصولات غذائی در سراسر جهان می‌باشد. این محصول در دامنه اگرواکولوژیکی وسیعی کشت می‌شود و به عنوان غذای اصلی بسیاری از مردم به ویژه در کشورهای آسیای مرکزی، جنوبی و شمال آفریقا (CWANA) و از جمله ایران محسوب می‌شود. حدود ۵/۷ میلیون هکتار از اراضی ایران برای کشت گندم اختصاص دارد که تولید سالیانه آن حدود ۱۱/۷ میلیون تن است (Anonymous, 2016). تولید پایین این محصول به عوامل مختلفی از جمله تنش‌های زنده (بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز) و تنش‌های غیر زنده (خشکسالی، دمای بالا یا پایین و سازگاری پایین) نسبت داده می‌شود. در میان تنش‌های زنده، زنگ ساقه (سیاه) با عامل *Puccinia graminis* Pers f. sp. *Tritici* (Pgt) Eriks. & E. Henn. در برخی کشورها مخرب‌ترین بیماری گندم به شمار می‌رود و خسارت آن در سال‌های همه‌گیری روی ارقام حساس به ۱۰۰٪ نیز می‌رسد (Admassu et al., 2012; Denbel et al., 2013). قارچ عامل بیماری انگل اجباری و دارای چرخه کامل بوده و با کاهش سطح فتوسنتز و مصرف آب و موادغذائی گیاه، رشد طبیعی آن را متوقف ساخته و منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Roelfs et al., 1992).

زنگ ساقه گندم، به دلیل استفاده گسترده از ژن مقاومت *Sr31* (که از چاودار به گندم منتقل شده است)، سال‌ها به طور موثری مهار شده بود (Rouse et al., 2012). با وجود این، پاتوتیپ جدید Ug99 با پرآزاری روی ژن مقاومت *Sr31* در اگاندا تشخیص داده شد و بر اساس نامگذاری آمریکاری شمالی در سال ۱۹۹۹ پاتوتیپ TTKS نامیده شد (Pretorius et al., 2000). پاتوتیپ جدید Ug99 طیف پرآزاری وسیعی دارد و با سرعت بالائی جهش یافته و گسترش می‌یابد. به طوری که از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۷ تعداد ۱۳ تغییر یافته ژنتیکی (Variant) از Ug99 در ۱۳ کشور تشخیص داده شده است (Anonymous, 2017). اخیرا Ug99 که در مصر (یکی از مناطق اصلی تولید گندم در خاور میانه) پایش شده است، و نشان داد که مسیر انتشار این پاتوتیپ مشابه پاتوتیپ بیماریزای زنگ زرد گندم است که بر روی ژن *Yr9* پرآزاری دارد (Singh et al., 2015). به دنبال تشخیص و انتشار گروه پاتوتیپ Ug99، پاتوتیپ جدید TKTTF موجب همه گیری‌های زنگ ساقه گندم در سطح زیر کشت حدود ۲۰ تا ۴۰ هزار هکتار (که با رقمی به نام Digalu کشت شده بود و مقاوم به Ug99 بود) در قسمت جنوبی اتیوپی شد (Olivera et al., 2015). حضور این پاتوتیپ اخیراً در ۱۱ کشور تایید شده است (Xu et al., 2017). با توجه به طبیعت مخرب و انتشار سریع پاتوتیپ TKTTF، پایش دقیق این پاتوتیپ به ویژه در کشورهایی که ارقام آن‌ها دارای ژن مقاومت *SrTmp* است، بسیار ضروری و مهم است.

پاتوتیپ جدید دیگری به نام TTTTF با پرآزاری روی ژن‌های مقاومت *Sr9e* و *Sr13* موجب خسارت به هزاران هکتار گندم دوروم در منطقه سیسیل (Sicily) ایتالیا در سال ۲۰۱۶ شد و نگرانی‌های را در اروپا ایجاد کرد (Bhattacharya, 2017). انتظار می‌رفت مقدار زیاد مایه آلوده‌کننده (Inoculum) تولید شده توسط TTTTF، موجب ادامه همه‌گیری در سال‌های بعد در برخی از مناطق اروپا شود. علاوه بر این، محققینی از GRRC سیستم هشداری را به اشتراک گذاشتند که اشاره می‌کرد پاتوتیپ TTTTF نه تنها توانائی آلودگی گندم نان و دوروم را دارد، بلکه این پاتوتیپ می‌تواند ارقام مختلف گندم سنتتیک را نیز آلوده کند (Anonymous, 2017). در برخی از منابع تهدید بالقوه این پاتوتیپ به تولید گندم اروپا مورد تاکید قرار گرفته است (Bhattacharya, 2017). بنابراین انتشار پاتوتیپ‌های Ug99، TKTTF، TTTTF

www.SID.ir

Archive of SID

و تغییر یافته‌های آن‌ها می‌توانند تولید گندم را در بسیاری از کشورها تهدید کنند.

تا پیش از سال ۲۰۱۵، تعداد ۷۲ ژن مقاومت مختلف برای زنگ ساقه گزارش شده است که بیشتر آن‌ها ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای می‌باشند (Singh et al., 2015). به کارگیری ژن‌های مقاومت موثر درمناطق عمده تولید گندم، تولید جهانی محصول گندم را برای بیش از ۴۰ سال (تا سال ۱۹۹۹)، یعنی تا زمانی که تغییرات پاتوتیپ درجمعیت عامل بیماری زنگ ساقه دیده نشد بود، حفاظت کرد و به این دلیل تحقیقات بین المللی بر روی این بیماری محدود شده بود (Singh et al., 2006).

خطر اصلی استفاده از چنین ژن‌های اختصاص –نژادی[1]، توانایی بیمارگرها برای شکستن آن‌ها است و این زمانی است که آن‌ها به تنهائی در ارقام به کار گرفته می‌شوند و ثابت شده است که نژاد Ug_{99} ژن‌های مقاومت Sr_{24} و Sr_{36} را نیز غیر موثر ساخته است (Jin et al., 2008, 2009). بنابراین تلاش برای تشخیص و تلفیق ژن‌هایی که مقاومت پایدار[2] را موجب می‌شوند، مهم است (Chen et al., 2013). مقاومت نسبی[3] یا تدریجی[4] نوعی مقاومت کمی[5] است که غیر اختصاص -نژادی[6] بود و پایدار نیز می‌باشد (Sawhney, 1995). مقاومت تدریجی، اغلب به عنوان مقاومت نسبی یا مقاومت گیاه کامل[7] نیز تعریف می‌شود. چنین مقاومتی چند ژنی بوده، فراوانی آلودگی را کاهش داده و رشد و گسترش بیمارگر (به ویژه در گیاهان بالغ) را کند می‌کند.

طبق پژوهش Yu et al. (2014)، به طور کلی پنج ژن مقاومت زنگ ساقه که در مقاومت تدریجی نقش دارند، شامل ژن‌های Sr_{58}، Sr_{57}، Sr_{56}، Sr_{2} و Sr_{55} می‌باشند.

1- Race-specific resistance
2- Durable resistance
3- Partial resistance
4- Slow rusting resistance
5- Quantitative resistance
6- Race non- specific resistance
7- Adult plant resistance

اثرات ژن‌های مقاومت غیر اختصاص-نژادی در مراحل رشدی بعد از مرحله گیاهچه‌ای بروز می یابند (Nzuve et al., 2012)، این ژن‌ها با واکنش‌های بدون فوق حساسیت[8] همراه هستند (Navabi et al., 2004; Singh et al., 2009).

ارقام گندم مقاوم به زنگ‌ها در طی برنامه‌های تحقیقات ملی و یا با همکاری مراکز بین المللی، معرفی و توسعه داده شده‌اند. با وجود این، مقاومت بیشتر این ارقام پایدار نبوده و در مدت کوتاهی بعد از معرفی حساس می‌شوند. در بیشتر موارد، شکست مقاومت در نتیجه پاتوتیپ‌های بیماریزای جدید و یا به علت بکارگیری ژن‌های مقاومت یکسان در دامنه وسیعی از ارقام جدید است (Admassu et al., 2012).

براساس مطالعات Admassu et al. (2012)، بیشتر ژن‌های مقاومت به زنگ ساقه که در ژنوتیپ‌های به‌نژادی اتیوپی وجود دارند، اختصاص–نژادی بوده و نسبت به پاتوتیپ‌های غالب *Pgt* غیرموثر هستند. شکست مقاومت بسیاری از ارقام امیدبخش که مقاوم به زنگ ساقه گزارش شده بودند، نشانگر اهمیت به‌نژادی برای مقاومت غیر اختصاص- نژادی (یا مقاومت پایدار) با استفاه از مقاومت چندژنی است. با توجه به تکامل و انتشار سریع پاتوتیپ‌های بیماریزای جدید زنگ ساقه، شکست غالب ارقام (که قبلاً دارای مقاومت به زنگ ساقه بودند) و محدودیت دسترسی به منابع مقاومت پایدار، توسعه ارقام گندم جدید با استفاده از منابع مختلف مقاومت، ضروری است (Hodson, 2013).

امروزه مدیریت زنگ‌ها با قارچ کش‌های موثر و جدیدی امکان پذیر شده است (Chen, 2005). با وجود این، کشت ارقام مقاوم موثرترین، اقتصادی‌ترین و از لحاظ محیطی سالم‌ترین روش مدیریت بیماری است (Goutam

8- Hypersensitive resistance

www.SID.ir

Archive of SID

et al., 2015). دو نوع مقاومت کمی (افقی[1]) و کیفی[2] (عمودی[3]) در پاتوسیستم‌های زنگ-غلات گزارش گردیده است (Sandoval-Islas et al., 2007). به‌کارگیری ژن‌های مقاومت کیفی (گیاهچه‌ای یا اختصاص- نژادی) کنترل موثر و کاملی در برابر بیماری فراهم می‌کند (Singh et al., 2011). اما این نوع مقاومت که به تشخیص اختصاصی بین فرآورده ژن مقاومت میزبان (*R*) و فرآورده ژن غیربیماریزائی بیمارگر (*Avr*) بستگی دارد، از فرضیه ژن برای ژن پیروی می‌کند (Flor, 1956). این نوع مقاومت ناپایدار بوده و به سرعت شکسته می‌شود (Boyd, 2005). برخلاف مقاومت کیفی، مقاومت کمی (گیاه کامل یا غیر اختصاص- نژادی) اساس چندژنی داشته و اغلب به عنوان مقاومت تدریجی و یا مقاومت نسبی تعریف شده (Singh et al., 2005) و مقاومت پایداری می‌باشد (Chen et al., 2013).

تاکنون دو نوع مقاومت کمی، یعنی مقاومت تدریجی و مقاومت گیاه کامل در درجه حرارت بالا[4] به طور وسیعی وسیعی بررسی شده‌اند (Chen, 2005; Singh et al., 2005). در اغلب پاتوسیستم‌های زنگ-غلات، مفاهیم کمی مقاومت ارقام تشریح شده و مقادیر آن در مرحله گیاه کامل با اندازه گیری شدت نهائی بیماری[5] در مرحله مشخصی از رشد گیاه، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری[6]، نرخ آلودگی ظاهری[7] و متوسط ضریب آلودگی[8] برآورد می‌شوند (Pathan and Park, 2006; Hei et al., 2015). محققین مختلفی با استفاده از این شاخص‌ها مقادیر کمی مقاومت ژنوتیپ‌های گندم یا جو را در سطح مزرعه مشخص کرده‌اند (Tabassum, 2011; Safavi and Afshari, 2012;; Shah et al., 2014; Hei et al., 2015; Alo et al., 2018). این محققین همچنین همبستگی بالایی بین برخی شاخص‌های مقاومت نسبی شامل شدت نهائی بیماری، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با یکدیگر مشاهده کرده‌اند.

در زمینه ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌های مختلف گندم نسبت به زنگ ساقه از سال‌ها پیش تاکنون تحقیقات متعددی در ایران نیز انجام گرفته است. Patpour et al. (2014) و Afshari (2012) واکنش ارقام و لاین‌های مختلف را در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل بررسی کرده‌اند. در نتایج این محققین تعداد بسیار کمی از ارقام دارای واکنش مقاومت گیاهچه‌ای (کیفی) و تعدادی نیز دارای واکنش نیمه‌حساسیت در مرحله گیاه کامل بوده‌اند. در بررسی‌های بسیاری از محققین بطور میانگین ۹۰ درصد از ژنوتیپ‌های جهانی در برابر پاتوتیپ‌های جدید زنگ ساقه حساس هستند (Singh et al., 2011).

در تحقیقات Jin and Singh (2006)، مقاومت ۴۵۰ رقم و لاین پیشرفته گندم در امریکا نسبت به دو جدایه Pgt از اوگاندا-۱۹۹۹ و جدایه دوم از کنیا-۲۰۰۴ با پرآزاری برای ژن مقاومت *Sr31* مورد ارزیابی قرار گرفتند. از نظر فراوانی ژرم پلاسم، ۴۸ درصد از گندم زمستانه دانه‌سخت، ۲۷ درصد از گندم زمستانه دانه‌نرم و ۱۶ درصد از گندم بهاره دانه‌سخت، نسبت به نژاد TTKS مقاومت داشتند. ژن‌های اعطا کننده مقاومت درگندم بهاره شناسایی نشدند. مقاومت در رقم Ivan به دلیل حضور ژن *Sr24* گزارش گردید و مقاومت درگندم زمستانه دانه سخت به واسطه حضور ژن *Sr24* و درگندم زمستانه دانه نرم به دلیل حضور ژن *Sr36* توجیه گردید.

سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) یک معیار کمّی (Quantitative) از کل مقاومت بوده و تمام مولفه‌های مقاومت نظیر دوره نهان آلودگی، اندازه

1- Horizenral resistance
2- Qualitative resistance
3-Vertical resistance
4- High temperature adult plant resistance =HTAPR
5- Final disease severity
6- Area Under Disease Progress Curve =AUDPC
7- Apparent infection rate
8- Average coefficient of infection

www.SID.ir

Archive of SID

اوریدینیوم، اسپورزائی و فراوانی آلودگی را در یک سطح میزبان مشخص می‌سازد (Bux et al., 2012). علت مطالعه شاخص‌های یاد شده در شرایط مزرعه‌ای، همبستگی پایین (r=0.5) برخی مولفه‌های مقاومت نسبی (یا مقاومت تدریجی) در شرایط گلخانه‌ای (گیاهچه‌ای) با مولفه‌های مذکور در شرایط گیاه کامل است (Sandoval-Islas et al., 2007). از طرف دیگر، از آنجا که بیان ژن‌های مقاومت غیر اختصاص- نژادی (مانند مقاومت نسبی یا تدریجی) در مرحله گیاه کامل انجام می‌گیرد (Singh et al., 2011)، لذا چنین مطالعاتی بایستی در مرحله گیاه کامل و ترجیحاً در شرایط مزرعه‌ای انجام شوند (Hei et al., 2015; safavi and Afshari, 2017b). در بررسی حاضر نیز، اولاً شاخص‌های مقاومت نسبی در مرحله گیاه کامل در تعدادی از ارقام و لاین‌های منتخب در برابر جمعیت پاتوتیپ زنگ ساقه در مزرعه بررسی شدند تا بر اساس سرعت پیشرفت بیماری و شاخص‌های دیگر، واکنش ژنوتیپ‌های مختلف مشخص گردد. ثانیاً واکنش گیاهچه‌ای نیز نسبت به دو پاتوتیپ مهم زنگ ساقه در گلخانه بررسی شدند، تا با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای و گیاهچه‌ای نسبت به وجود یا عدم وجود ژن‌های مقاومت گیاه کامل یا مقاومت گیاهچه‌ای در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه قضاوت گردد.

مواد و روش‌ها

ارزیابی واکنش گیاهچه‌ای: به منظور بررسی واکنش ۲۶ ژنوتیپ گندم، شامل ۱۴ رقم و ۱۲ لاین منتخب، همراه با شاهد حساس (جدول ۱) در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط کنترل شده در گلخانه‌های واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات (کرج)، ۴ تا ۶ بذر از هر ژنوتیپ در گلدان‌های آزمایشی به قطر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که در آن‌ها مخلوط خاک معمولی و پیت ماس (به نسبت ۷۰٪ خاک معمولی و ۳۰٪ پیت ماس) ریخته شده بود، کاشته شدند. شاهد حساس موراکو (Morocco) نیز به همین ترتیب در گلدان‌های مربوطه کاشته شد. بعد از گذشت مدت ۸ تا ۱۰ روز، زمانی که برگ اول گیاهچه‌ها به خوبی توسعه یافت، مایه‌زنی جداگانه ژنوتیپ‌های کاشته شده با اسپورهای سه جدایه مختلف قارچ عامل بیماری زنگ سیاه انجام شد. جدایه‌های عامل بیماری که از مناطق مستعد به بیماری جمع‌آوری شده بودند و در بخش تحقیقات غلات نگهداری می‌شوند (Roohparvar and Omrani, 2018)، شامل پاتوتیپ‌های TKTTF (دو جدایه) و TTTTF (یک جدایه) بودند (جدول ۲). برای انجام مایه‌زنی، از سوسپانسیون اردواسپور در حلال سالترول ۱۷۰ در غلظت ۱۰ میلی‌گرم اسپور در ۱۰ میلی‌لیتر روغن استفاده گردید. به منظور اطمینان از صحت داده‌های جمع‌آوری شده، برای هر دسته از ارقام یا لاین‌های مایه‌زنی شده با هر جدایه، دو تکرار در نظر گرفته شد. گیاهچه‌های مایه‌زنی شده به مدت ۲۴ ساعت در اتاقک با شرایط دمایی $^{\circ}$C ۲±۱۸ و ۱۶ ساعت تاریکی و رطوبت نزدیک اشباع نگه داشته شدند. سپس، گیاهچه‌ها به گلخانه با شرایط دمایی $^{\circ}$C ۲±۲۲ و ۱۶ ساعت روشنایی منتقل شد. چهارده روز پس از مایه‌زنی، از تیپ آلودگی گیاهچه‌ها با استفاده از مقیاس ۴-۰ که توسط Stakman et al. (1962) معرفی و توسط McIntosh et al. (1995) تعدیل گردیده است، یادداشت‌برداری شد.

ارزیابی واکنش مزرعه‌ای: ۲۶ رقم و لاین منتخب گندم همراه با مخلوط شاهد حساس (جدول ۱) تحت شرایط مزرعه‌ای و در برابر جمعیت نژادی زنگ سیاه اردبیل که دارای پرآزاری برای ژن‌های مقاومت مهم مانند *Sr25*، *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr9f*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr37*، *SrDP2*، *SrGT*، *SrPL*، *SrWLD* و *SrH* (Safavi and Malihipour, 2018)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- شجره ارقام و لاین‌های منتخب گندم استفاده شده برای ارزیابی مقاومت نسبی نسبت به زنگ سیاه

Table1. Pedigree of cultivars and candidate wheat lines used for evaluation of partial resistance parameters against stem rust

No.	Line code	Pedigree/Parents
1	Heydari	Ghk "s"//Bow "s"//90Zhong87/3/Shirodi
2	Pishgam	Bkt/90-Zhong87
3	Mihan	Bkt/90-Zhong87
4	Zare	130L1.11//F35.70/Mo73/4/Ymh/Tob//Mcd/3/Lira
5	Oroum	Alvand//NS732/Her
6	Soissons	ENA(JENA)/(HYBRIDE-NATUREL)HN-35
7	Gascogne	TJB-900-8/Marengo
8	Gaspard	Arminda/FD-71036
9	MV-17	Slaviya/3/Krasnodari 1/ Bezostaya//3Zg.4431
10	C-90-11	Eudiele
11	CD-91-12	Solh
12	CD-92-6	NA
13	C-94-5	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1
14	CD-94-8	Shark-1/3/Agri/Bjy//Vee/4/Shark/F4105W2.1
15	CD-94-9	Zarrin/Shiroodi/6/Zarrin/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu
16	CD-95-5	NA
17	Tirgan	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR
18	Ehsan	NA
19	Morvarid	Milan/Sha 7 or MILAN/SHANGHAI-7
20	Gonbad	ATRAK/WANG-SHUI-BAI or ATRAK/WANG-SHUI-BAI
21	N-91-9	PFAU/MILAN/3/SKAUZ/KS94U215//SKAUZ
22	N-91-17	MILAN/S87230//BABAX
23	N-92-9	VOROBEY
24	N-92-19	PBW343/TONI//TROST/3/SOVA
25	N-93-9	CHAPIO/3/BORL95/2*EXCALIBUR//EXCALIBUR
26	N-93-15	KACHU/SAUAL
27	Check	-

جدول۲- مشخصات پاتوتیپ‌های استفاده شده در بررسی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نسبت به زنگ سیاه در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه

Table 2. Details of the pathotypes used to study the reaction of the wheat genotypes to stem rust at seedling stage in the greenhouse

Isolate code	Pathotype	Site of collection	The genes that the isolate/race is virulent on them[1]
94-32	TTTTF	Kelardasht, Mazandaran	*Sr5*, *Sr6*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr11*, *Sr17*, *Sr21*, *Sr30*, *Sr36*, *Sr38*, *SrMcN*, *SrTmp*
95-31	TKTTF	Kelardasht, Mazandaran	*Sr5*, *Sr6*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr17*, *Sr21*, *Sr30*, *Sr36*, *Sr38*, *SrMcN*, *SrTmp*
94-52	TKTTF	Parsabad, Ardabil	*Sr5*, *Sr6*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr17*, *Sr21*, *Sr30*, *Sr36*, *Sr38*, *SrMcN*, *SrTmp*

1- Based on the results of Roohparvar and Omrani (2018).

www.SID.ir

Archive of SID

و *Sr9e*، *Sr13* و *SrTmp* (Malihipour et al., 2019) بود، ارزیابی شدند. این بررسی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق اردبیل، واقع در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب غربی جاده اردبیل - خلخال با طول جغرافیای ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۵۰ متر انجام شد. در بررسی مزرعه‌ای، شاخص‌های مختلف مقاومت نسبی (یا تدریجی) شامل شدت نهایی بیماری، ضریب آلودگی، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری[1] و نرخ آلودگی ظاهری ارزیابی شدند.

در فصل پاییز هر کدام از ژنوتیپ‌ها به میزان هشت گرم روی دو خط یک متری با فاصله ۳۰ سانتی متر از همدیگر روی یک پشته کاشته شدند و بعد از هر ده رقم و نیز در کل حاشیه آزمایش روی دو خط یک متری (یک پشته) مخلوط رقم حساس McNair و لاین CD-90-12 کشت شد. آزمایش در سه تکرار انجام شد و در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری غرقابی، وجین علف‌های هرز، و کودپاشی انجام شد. یادداشت‌برداری از شدت بیماری زنگ سیاه (سطح ساقه آلوده شده از ۰ تا ۱۰۰ درصد)، در سه تا چهار نوبت و به فاصله هر ۷-۶ روز یک‌بار از زمان ظهور ۴۰٪ بیماری روی شاهد حساس و براساس مقیاس اصلاح شدهٔ کاب[2] انجام شد (Peterson et al., 1948). همچنین از تیپ آلودگی[3] بر اساس روش Singh et al. (2011) یادداشت‌برداری گردید. یادداشت‌برداری از آغاز مرحله شیری تا اواخر مرحله خمیری گیاه ادامه داشت.

برای محاسبه ضریب آلودگی، داده‌های مربوط به شدت بیماری و تیپ آلودگی با هم ترکیب شدند. به عبارت دیگر، ضریب آلودگی از ضرب شدت بیماری در مقدار ثابت مربوط به واکنش میزبان (Immune=0.0, R=0.2, MR=0.4, M=0.6, MS=0.8, MSS=0.9, S=1) بدست آمد (Stubbs et al. 1986).

سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) نیز بر اساس روش Pandy et al. (1989)، مطابق با فرمول زیر:

$$AUDPC= ((N_1 (X_1+X_2)/2) + (N_2 (X_2+X_3)/2))$$

محاسبه شد که در این فرمول:

AUDPC= سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

N_1= فاصلهٔ اولین یادداشت‌برداری با دومین یادداشت‌برداری به روز،

N_2= فاصلهٔ دومین یادداشت‌برداری با سومین یادداشت‌برداری،

x_1 , x_2, x_3= بترتیب ضریب آلودگی اولین، دومین و سومین یادداشت‌برداری می‌باشند.

همچنین برای محاسبه مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) از فرمول زیر استفاده شد:

rAUDPC = (AUDPC هر لاین / AUDPC رقم حساس × ۱۰۰)

نرخ آلودگی ظاهری نیز مطابق روش Van der Plank (1968) براساس فرمول زیر برای هر لاین محاسبه شد:

$$r=1/\Delta_t[(\ln(x_2/1-x_2)) - (\ln(x_1/1-x_1))]$$

که در آن $\Delta_t = t_2-t_1$ ، t_1 و t_2 زمان‌های یادداشت‌برداری و x_1 و x_2 شدت بیماری یادداشت شده در زمان‌های ذکر شده می‌باشد.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی براساس مقادیر مختلف مقاومت نسبی به روش Pathan and Park (2006) و Ali et al. (2008) انجام شد. همچنین به منظور تجزیه خوشه‌ای ارقام و لاین‌های منتخب و رسم نمودارها، از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۴) و Excel استفاده گردید.

1- relative Area Under Disease Progress Curve= rAUDPC
2- Modified Cobb,s scale
3- Infection type

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

نتایج واکنش گیاهچه‌ای: نتایج ارزیابی گیاهچه‌ای با استفاده از پاتوتیپ‌های TTTTF (یک جدایه) و TKTTF(دو جدایه) نشان داد که از ۲۶ ژنوتیپ بررسی شده، ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶، ۷، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ نسبت به هر دو پاتوتیپ (یا هر سه جدایه) با داشتن تیپ آلودگی گیاهچه‌ای پایین (حداکثر $^{+}$۲) مقاوم بودند. نوزده ژنوتیپ (۷۳٪) در مرحله گیاهچه‌ای با داشتن تیپ آلودگی بالا (مساوی یا بالاتر از ۳) حداقل به یکی از پاتوتیپ‌ها یا تمام جدایه‌ها (هر دو پاتوتیپ) حساس بودند (جدول ۳).

برخی از ژنوتیپ‌ها (شماره‌های ۲، ۶، ۱۶ و ۱۸) با وجود داشتن تیپ آلودگی پایین در مرحله گیاهچه‌ای، در مرحله گیاه کامل در برابر جمعیت نژادی زنگ سیاه اردبیل واکنش نیمه حساسیت یا نیمه‌حساسیت تا حساسیت نشان دادند (جدول ۳). برخی از ژنوتیپ‌ها هم با وجود داشتن تیپ آلودگی بالا در مرحله گیاهچه‌ای در برابر حداقل یک پاتوتیپ، در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) نشان دادند (جدول ۳).

نتایج واکنش مزرعه‌ای: بر اساس نتایج بررسی واکنش گیاه بالغ طی سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۹ و ۲۰ تیپ آلودگی نیمه مقاوم (MR) یا نیمه مقاوم تا متوسط (MR/M) با شدت آلودگی ۳۵ تا ۴۰ درصد شاهد حساس نشان دادند (جدول ۳). شماره‌های ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۶ تیپ آلودگی متوسط (M) و با شدت آلودگی ۴۵ تا ۵۰ درصد شاهد حساس را داشتند. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۸، ۱۶، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ نیز نیز با داشتن تیپ آلودگی متوسط تا نیمه‌حساس (M/MS) یا نیمه‌حساس (MS) و شدت آلودگی ۵۵ تا ۶۵ درصد رقم حساس در گروه دیگری قرار گرفتند. هشت رقم یا لاین هم با داشتن تیپ آلودگی نیمه‌حساس تا حساس (MSS) و شدت آلودگی ۷۰ تا ۸۵ درصد رقم حساس را داشتند و تنها شاهد حساس با تیپ آلودگی حساس (S) و آلودگی ۱۰۰ درصد از بقیه ژنوتیپ‌ها جدا می‌شد.

با بررسی نتایج واکنش ارقام و لاین‌های استفاده شده در این مطالعه در برابر دو جدایه یک پاتوتیپ (TKTTF)، مشخص گردید که ژنوتیپ‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی نسبت به پاتوتیپ نشان می‌دهند. علت این تفاوت می‌تواند به دلیل ژن‌های پرآزاری متفاوت دو جدایه یک پاتوتیپ باشد. به عبارت دیگر، اگر چه بر اساس روش‌های رایج، دو جدایه ۳۱-۹۵ و ۵۲-۹۴ در یک پاتوتیپ نامگذاری شده اند، اما نتایج واکنش ژنوتیپ‌ها بیانگر این واقعیت است که ژن‌های پرآزاری متفاوت در این دو جدایه وجود دارند که در ارقام افتراقی برای تفکیک این دو جدایه کافی نبودند.

در بررسی حاضر شاخص‌های مقاومت نسبی یا تدریجی (شامل شدت نهایی بیماری، ضریب آلودگی، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری و نرخ آلودگی ظاهری) نیز نشان دادند که گروه‌های مختلف ارقام و لاین‌های کاندید واکنش‌های متفاوتی نسبت به فشار بیماری نشان می‌دهند (جدول ۳).

تنوع شاخص ضریب آلودگی: به منظور محاسبه ضرایب آلودگی، از ترکیب داده‌های شدت بیماری و واکنش میزبان استفاده شدند. براساس روش Pathan and Park (2006) و Hei et al. (2015)، ارقام یا لاین‌هایی با مقادیر ضریب آلودگی ۲۰-۰، ۴۰-۲۱ و ۶۰-۴۱ به ترتیب دارای مقاومت نسبی سطح بالا، متوسط و پایین در نظر گرفته می‌شوند. در این بررسی ارقام گاسکوژن، گنبد و MV17 در دسته اول (گروه دارای

www.SID.ir

جدول ۳- نتایج واکنش گیاهچه‌ای و میانگین شاخص‌های مقاومت نسبی در برخی از ارقام و لاین‌های منتخب گندم نسبت به زنگ سیاه

Table 3. Results of seedling responses and mean values of partial resistance parameters against stem rust in some some wheat cultivars and seleceted elite lines

No.	Cultivar/line	Seedling infection type[1]			Adult plant infection type[2]	Mean of partial resistance parameters[3]				
		TTTTF Kelardasht isolate	TKTTF Kelardasht isolate	TKTTF Pars Abad isolate		FDS	CI	AUDPC	rAUDPC	r
۱	Heydari	3	3	2+	MS/MSS	70	60	662	64	0.149
۲	Pishgam	1+	2-	;1	MSS	75	68	679	66	0.157
۳	Mihan	3-	3	;1	MSS	80	72	756	73	0.160
٤	Zare	3	3	3	M/MS	55	39	441	43	0.164
٥	Oroum	-	3	2	MSS	85	77	907	88	0.113
٦	Soissons	2+	2	2+	MSS	85	77	788	76	0.223
۷	Gascogne	2	2+	2+	MR/M	40	20	403	39	0.095
۸	Gaspard	3	3+	3+	MS	60	48	609	59	0.128
۹	MV-17	2	3-	;	MR/M	40	20	336	33	0.128
۱۰	C-90-11	2+	3	2-	MS	65	52	609	59	0.168
۱۱	CD-91-12	4	3	2-	MSS	85	77	980	95	0.210
۱۲	CD-92-6	3	3	1	MSS	75	68	739	71	0.139
۱۳	C-94-5	3-	3-	3	MS	65	52	644	62	0.123
۱٤	CD-94-8	3+	1	1	MSS	80	72	770	75	0.198
۱٥	CD-94-9	3	3	2	M/MS	55	39	522	50	0.113
۱٦	CD-95-5	2+	2+	-	M/MS	55	39	574	56	0.138
۱۷	Tirgan	X	2-	0;	M	45	27	403	39	0.143
۱۸	Ehsan	2-	2-	1+	M/MS	55	39	578	56	0.133
۱۹	Morvarid	3	3+	3	M	45	27	427	41	0.135
۲۰	Gonbad	0;	3-	1	MR	35	14	368	36	0.113
۲۱	N-91-9	3-	3	2+	M	45	27	403	39	0.143
۲۲	N-91-17	;1	2-	;	M	50	30	438	42	0.124
۲۳	N-92-9	3-	3-	1+	MS	60	48	522	50	0.153
۲٤	N-92-19	X	3	1	MS	60	48	476	46	0.136
۲٥	N-93-9	X	3	2-	MS	60	48	567	55	0.147
۲٦	N-93-15	X	3	0;	M	50	30	406	39	0.157
-	Check	3	3	3	S	100	100	1033	100	0.328

1-Seedling reaction types based on methohd of Stakman et al. (1962).

2- Infection types based on Singh et al. (2011): MR= moderately resistant; small pustules, M= moderately resistant to moderately susceptible, MS= moderately susceptible; medium-sized pustules, with some chlorosis possible, MSS= moderately susceptible to susceptible; medium to large sized pustules, S= susceptible; large pustules, no necrosis or chlorosis.

3-Partial resistance parameters including; FDS= Final disease severity, CI=Coefficient of Infection, rAUDPC= relative Area under disease progress curve, r= Apparent infection rate.

www.SID.ir

Archive of SID

سطح بالای مقاومت نسبی) قرار گرفتند (جدول ۳). البته بایستی توجه داشت که برخی از این ژنوتیپ‌ها (مانند رقم گاسکوژن) هر چند در گروه اول قرار گرفته‌اند، ولی از یک طرف به دلیل داشتن تیپ آلودگی پایین در مرحله گیاه بالغ ممکن است دارای مقاومت اختصاص-نژادی باشند اما از طرف دیگر، از آنجا که ژن‌های مقاومت غیر اختصاص-نژادی توسط ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای پوشیده می‌مانند (Chen, 2005)، احتمالاً دارای ژن‌های مقاومت گیاه بالغ نیز هستند.

ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۶ مقادیر متوسطی از شاخص‌های مقاومت به زنگ ساقه را نشان دادند و به عنوان ارقام یا لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت نسبی برای زنگ ساقه در نظر گرفته شدند. تعداد شش رقم یا لاین (۲۳٪) نیز دارای سطح پایین مقاومت نسبی و بقیه ژنوتیپ‌ها (شماره‌های ۲، ۳، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲ و ۱۴) همراه با شاهد حساس که ضریب آلودگی بالاتر از ۶۰ نشان دادند، به عنوان گروه حساس و بدون هیچ نوع مقاومت نسبی گروه‌بندی شدند.

برخی از لاین‌ها در شجره خود دارای ارقام Chapio، Bluebird ، Babax، Attila و Pastor هستند، این ارقام به دلیل دارا بودن چند ژن مقاومت نسبی یا تدریجی نسبت به زنگ سیاه، زرد و قهوه‌ای و حتی برخی بیماری‌های دیگر مقاومت پایداری را در رقم معرفی شده اعطا می‌کنند. از جمله این ژن‌ها می‌توان به ژن‌های مقاومت غیر اختصاص-نژادی *Sr2*، *Sr55*، *Sr56*، *Sr57*، *Sr58*، *Yr18*، *Yr29*، *Yr30*، *Yr36*، *Yr46*،*Lr34*، *Lr46*، *Lr67* و *Lr68* اشاره کرد، که به صورت انفرادی یا درترکیب با یکدیگر در ژرم پلاسم مقاوم مانند Kiritati، Tukuru، kukuna، Vivitsi، Pastor و Trap وجود دارند (Singh et al., 2005, 2011). اخیرا برخی از این ارقام در تلاقی‌های مربوط به برخی از لاین‌های امیدبخش گندم ایران (به غیر از لاین‌های مورد بررسی در این پژوهش) به کار گرفته شده‌اند.

طی مطالعات انجام شده در سیمیت (CIMMYT) ثابت شده است که ژن *Yr29* با ژن *Lr46* و ژن نکروز نوک برگ (*Ltn2*) پیوستگی دارد (Singh et al., 2005; Kumar et al., 2019). ژن مقاومت *Lr67* نیز با ژن *Yr46* پیوستگی دارد (Herrera-Foessel et al., 2011). این ژن‌های مقاومت، مسئول مقاومت نسبی (تدریجی) در برابر زنگ قهوه‌ای و زنگ زرد هستند. ژن مقاومت تدریجی *Yr30* که در چندین رقم گندم با منشا سیمیت پیدا شده است، در ناحیه کروموزومی حامل ژن مقاومت تدریجی *Sr2* که نسبت به برخی از پاتوتیپ‌های عامل زنگ ساقه مقاوم هستند، یافت می‌شود (Singh et al., 2000).

ژن‌های مقاومت تدریجی *Yr30* و *Yr29* به طور وسیعی در ژرم پلاسم گندم سیمیت استفاده شده‌اند (Singh et al., 2005). ژن‌های مقاومت *Yr18/Lr34* با ژن نکروز نوک برگ (*Ltn1*) پیوستگی دارند. ژن‌های مقاومت تدریجی *Lr67/Yr46* نیز با ژن دیگر نکروز برگ (*Ltn3*) پیوستگی دارند (Kumar et al., 2019). نکروز نوک برگ یک ویژگی مورفولوژیکی است که پیوستگی کامل با ژن‌های مختلف مقاومت تدریجی نسبت به زنگ سیاه، زنگ زرد، قهوه‌ای و سفیدک سطحی نشان می‌دهد (Singh, 1992; Kumar et al., 2019) و در مواردی می‌تواند به عنوان یک نشانگر مهم در تشخیص اولیه لاین‌های گندم حامل این ژن‌های مقاومت استفاده شود (Kumar et al., 2019).

در آخرین بررسی مشخص گردیده است که ژن *Yr46* با ژن‌های *Sr55* (دارای مقاومت تدریجی نسبت به زنگ سیاه) و ژن *Pm46* (دارای مقاومت تدریجی نسبت به سفیدک سطحی گندم) پیوستگی دارد (Kumar et al.,

www.SID.ir

Archive of SID

2019). ژن‌های *Yr18* و *Yr29* نیز به ترتیب با ژن‌های *Pm38*، *Stb1* (ژن مقاومت به لکه‌برگی سپتوریایی گندم)، *Bdv1* و *Sr57* و ژن‌های *Pm39*، *Lr46* و *Sr58* پیوستگی دارند (Singh et al., 2015).

با توجه به مقادیر ضریب آلودگی روی رقم حساس (جدول ۳)، فشار بیماری بطور قابل توجهی بالا بود. بیشترین مقدار ضریب آلودگی ثبت شده در بین ژنوتیپ‌های بررسی شده، بین ۷۷-۶۸ درصد شاهد حساس مشاهده شد که مربوط به هفت رقم یا لاین گروه حساس بود. در حالی که بقیه ۱۹ ژنوتیپ، تا ۶۰ درصد شاهد حساس ضریب آلودگی داشتند. براساس این نتایج پاتوتیپ/پاتوتیپ‌های زنگ سیاه اردبیل روی بیشتر ارقام یا لاین‌های ارزیابی شده دارای پرآزاری بودند (جدول ۳). با توجه به واکنش گیاه بالغ و گیاهچه‌ای در ژنوتیپ‌های بررسی شده در این مطالعه، برخی از ارقام یا لاین‌ها احتمالاً ژن/ژن‌های مقاومت اختصاص-نژادی یا ترکیبی از ژن‌های مقاومت اختصاص-نژادی با غیر اختصاص-نژادی را حمل می‌کنند که در برابر دو پاتوتیپ گلخانه‌ای و جمعیت پاتوتیپ مزرعه‌ای (با طیف پرآزاری مشخص) موثر بوده‌اند. توجه به این نکته ضروری است که لاین‌های دارای مقاومت اختصاص- نژادی اغلب در عرض چند سال بعد از معرفی حساس می‌شوند. این حالت به علت تکامل سریع پاتوتیپ‌های بیماری‌زای بیمارگر است (Chen, 2005; Singh et al., 2011). برای جلوگیری از شکست مقاومت چنین ارقامی، بهتر است ترکیب دو نوع مقاومت اختصاص- نژادی و غیر اختصاص- نژادی در یک رقم بکار گرفته شود. وجود حداقل ۵-۴ ژن مقاومت غیر اختصاص– نژادی در یک رقم باعث مقاومت رقم در حد مصونیت خواهد شد (Singh et al., 2011).

ارقام یا لاین‌هایی که دارای مقاومت نسبی (یا تدریجی) مطلوب هستند به دلیل داشتن دوره نهان آلودگی[1] طولانی، سرعت همه‌گیری بیماری را کاهش داده و به طور مستقیم روی تغییر پاتوتیپ‌ها اثر گذار نیستند. زیرا در این ارقام یا لاین‌ها مقاومت توسط تعدادی ژن کوچک‌اثر[2] کنترل می‌شوند، که غلبه بر آن زمان طولانی‌تری را در مزرعه خواهد گرفت. عوامل مختلفی نظیر جهش (موتاسیون)، نوترکیبی حاصل از تولید مثل جنسی یا هیبریداسیون، مهاجرت در مسافت‌های طولانی و فشار انتخابی ژنوتیپ میزبان روی بیمارگر، می‌توانند ژنتیک بیماری‌زائی زنگ‌های غلات را تغییر دهند (Singh et al., 2015). بنابراین محققین، با توجه به توانایی بالای بیمارگر در تغییر پرآزاری، بایستی چند ژن مقاومت نسبی (غیر اختصاص- نژادی) یا ترکیب ژن مقاومت غیر اختصاص- نژادی با مقاومت گیاهچه‌ای (اختصاص- نژادی) را به جای استفاده صرف از مقاومت اختصاص- نژادی به کار گیرند.

بعد از ظهور پاتوتیپ Ug99 که دارای پرآزاری روی ژن *Sr31* بود، ژن‌های مقاومت *Sr25* و *SrTmp* توسط پژوهشگران زیادی مورد توجه قرار گرفتند. علت توجه به این ژن‌ها، مقاومت آن‌ها در برابر نژاد Ug99 و برخی از تغییر یافته‌های[3] آن بود (Singh et al., 2011). با توجه به وقوع پرآزاری روی ژن *Sr25* (Safavi and Afshari, 2017a) و ژن‌های *SrTmp*، *Sr9e* و *Sr13* (Malihipour et al., 2019) در اردبیل چنین استنباط می‌شود که ژنوتیپ‌های دارای مقاومت مطلوب و متوسط این ژن‌ها را حمل نمی‌کنند و یا در صورت دارا بودن این ژن‌ها، ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای (اختصاص- نژادی) یا گیاه بالغ (غیر اختصاص- نژادی) دیگری را در ترکیب با این ژن‌ها حمل می‌کنند.

1- Latent period
2- Minor genes
3- Variants

www.SID.ir

Archive of SID

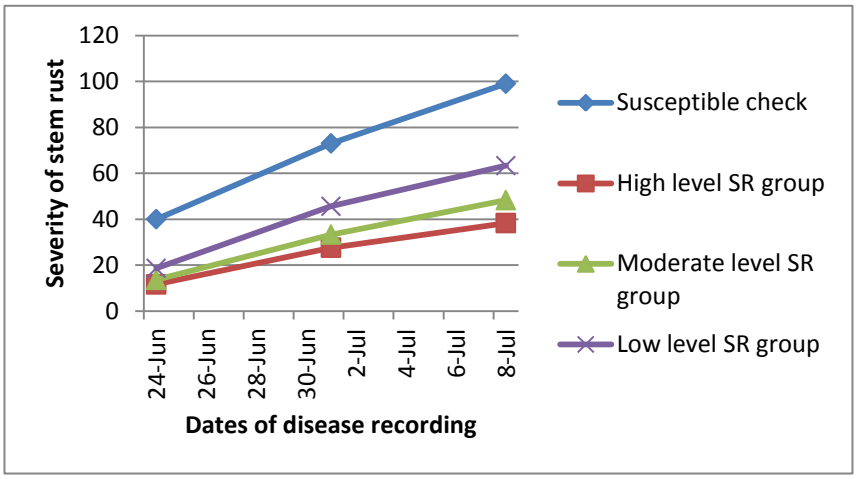
تنوع ارقام و لاین‌ها در شدت نهایی زنگ سیاه: داده‌های شدت نهایی بیماری (FDS) در ۲۶ ژنوتیپ همراه با شاهد حساس (مخلوط رقم MacNair و لاین CD-90-12) در جدول ۳ نشان داده شده است. فشار بالای شدت بیماری در محل اجرای این پژوهش برای ژنوتیپ‌های مورد آزمایش نشان داد که بیشترین آن ۱۰۰ درصد مربوط به شاهد حساس و ارقام اروم و سایسونز (با ۸۵ درصد شدت آلودگی) بود. برای ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۱۲ و ۱۴ به ترتیب ۷۵٪، ۸۰٪، ۷۵٪ و ۸۰٪ برآورد شد که در کنار دو رقم دیگر به عنوان ژنوتیپ‌های حساس گروه‌بندی شدند. بر اساس داده‌های شدت نهایی بیماری و مطابق روش Ali et al. (2008) و Hei et al. (2015)، ژنوتیپ‌های ارزیابی شده در این مطالعه در سه گروه دارای مقاومت نسبی (یا تدریجی) بالا، متوسط و پایین قرار گرفتند که به ترتیب مقادیر شدت نهایی بیماری در آن‌ها ۳۰-۱٪، ۵۰-۳۱٪ و ۷۰-۵۱٪ بود. هیچ ژنوتیپی مقادیر پایین FDS (۳۰-۱٪) را نشان نداد. در حالی که ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۹، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۶ با مقادیر شدت نهایی بیماری ۵۰-۳۱٪ سطح متوسط مقاومت نسبی داشتند. شکل ۱ منحنی پیشرفت بیماری بر اساس شدت بیماری یادداشت‌برداری شده در تاریخ‌های مختلف را نشان می‌دهد. در این شکل به وضوح تفاوت گروه‌های مختلف، از نظر سطح مقادیر مقاومت نسبی یا تدریجی مشخص است به طوری که در گروه‌های دارای سطح بالا و متوسط مقاومت نسبی، مقدار نهائی شدت بیماری بسیار پایین‌تر از گروه‌های دیگر است. طبق نظر محققین مختلف، ژنوتیپ‌های این گروه می‌توانند درجات مختلف مقاومت پایدار را دارا باشند و می‌توانند به عنوان والدین خوبی برای به نژادی به کار گرفته شوند (Hei et al., 2015; Singh et al., 2017). بنابراین ارقام یا لاین‌های این گروه به طور بالقوه‌ای در برنامه‌های به‌نژادی مفید هستند. در بررسی واکنش ارقام و لاین‌های مختلف گندم نسبت به زنگ‌های زرد یا سیاه، محققین دیگری مانند Saleem et al. (2015)، Singh et al. (2017) و Safavi and Afshari (2017b) نیز از ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت نسبی یا تدریجی استفاده نمودند. این محققین دریافتند که مقاومت ارقام یا لاین‌ها بر اساس شاخص‌های مختلف مقاومت کمی (نسبی یا تدریجی) از سطح خیلی پایین تا سطح خیلی بالا متغیر بودند.

ژنوتیپ‌هایی که تیپ آلودگی متوسط (با واکنش‌های MR، MS و M) و درصد آلودگی پایینی دارند، به احتمال زیاد دارای ژن‌های کوچک‌اثر بوده و به صورت افزایشی عمل می‌کنند (Chen, 2013; Singh et al., 2005). در این ژنوتیپ‌ها احتمال وجود ژن‌های کنترل کننده مقاومت نسبی یا تدریجی (مانند *Sr2* همراه با ژن‌های دیگر مقاومت تدریجی مانند *Sr56*) و یا ژن‌های مقاومت گیاه بالغ در دمای بالا (HTAPR) زیاد است. از آنجا که این نوع مقاومت‌ها به دلیل اثر افزایشی ژن‌ها مدت زمان زیادی پایدار می‌مانند (Singh et al., 2011; Chen, 2013)، بنابراین بایستی بیشتر مورد توجه محققین غلات قرار گیرند.

تنوع ژنوتیپ‌ها در مقادیر rAUDPC: بر اساس داده‌های rAUDPC ، ارقام و لاین‌های منتخب در دو گروه متفاوت دسته‌بندی شدند. در این دسته‌بندی که بر اساس روش Ali et al. (2008) انجام گرفت، گروه اول شامل ژنوتیپ‌هایی است که مقدار rAUDPC آن‌ها کمتر از ۱ تا ۳۰ درصد رقم حساس و گروه دوم شامل ارقام و لاین‌هایی است که مقدار rAUDPC آن‌ها کمتر از ۳۱ تا ۷۰ درصد رقم حساس است. در این ژنوتیپ‌ها، ابتدا بیماری زنگ سیاه شروع به اسپورزائی می‌کند اما در نهایت جوش‌های کوچک همراه با نواحی رنگ پریده (تیپ‌های آلودگی MS یا MR یا هردو) در ساقه دیده می‌شوند. بنابراین،

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- منحنی پیشرفت بیماری در گروه‌های مختلف ژنوتیپ‌های حساس (رنگ آبی)، دارای سطح مطلوب (رنگ زرد)، متوسط (خاکستری) و پایین (قرمز) مقاومت تدریجی (نسبی) نسبت به زنگ ساقه در سه تاریخ مختلف یادداشت‌برداری بیماری

Figure 1. Disease progress curve in different groups of genotypes; Susceptible (blue color), high level (yellow), moderate level (gray) and low level (red) slow rusting (partial) resistant groups against stem rust in different dates of disease recording

پیشرفت بیماری کند شده و محدود می‌گردد. ژنوتیپ‌های گروه یک به عنوان گروه دارای سطح مطلوب مقاومت نسبی (یا تدریجی) و ارقام یا لاین‌های گروه دو به عنوان ژنوتیپ‌های دارای سطح متوسط مقاومت نسبی دسته‌بندی می‌شوند. علت این گروه‌بندی، عدم داشتن پتانسیل همه‌گیری بالا علی رغم بروز نشانه‌هایی با تیپ آلودگی بالا می‌باشد. انتظار می‌رود، ژنوتیپ‌های با چنین ویژگی‌هایی دارای ژن‌هایی برای مقاومت نسبی باشند (Hei et al., 2015; Mitiku et al., 2018). به استثناء ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲ و ۱۴ که مقادیر rAUDPC بالای ۷۰ درصد رقم حساس داشتند، بقیه ۲۰ ژنوتیپ (۷۷٪) مقادیر کمتر از ۷۰ درصد رقم حساس نشان دادند و به عنوان گروه دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند (جدول ۳). این گروه شامل ژنوتیپ‌هایی با درجات متفاوت مقاومت نسبی یا تدریجی هستند، این ژنوتیپ‌ها به نظر می‌رسد که دارای مقاومت نسبتاً پایداری باشند (Singh et al. 2005; Hei et al., 2015). علاوه بر این، ژنوتیپ‌های دارای سطح قابل‌قبول مقاومت نسبی، تکامل پاتوتیپ‌های جدید بیمارگر را محدود می‌کنند، زیرا که جهش‌های چند نقطه‌ای در طبیعت بی نهایت نادر می‌باشند (Singh et al., 2015). بر اساس مقادیر rAUDPC، هیچ یک از ارقام یا لاین‌های بررسی شده در این مطالعه مصون نبودند.

تنوع ارقام و لاین‌ها از نظر نرخ آلودگی ظاهری

ظاهری: طی بررسی سرعت پیشرفت بیماری با استفاده از رابطه‌های ریاضی مربوطه، نرخ آلودگی ظاهری (r) تمام ژنوتیپ‌های مطالعه شده در این پژوهش کمتر از شاهد حساس بودند (جدول ۳). بعد از شاهد حساس، بالاترین میانگین مقدار نرخ آلودگی (r=0.223) برای رقم سایسونز ثبت گردید که بعد از آن لاین CD-91-12 با مقدار میانگین نرخ آلودگی r=0.21 قرار داشت. این ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر CI و FRS در گروه حساس قرار می‌گرفتند. طبق بررسی‌های Hei et al. (2015) و Sandoval-Islas et al. (2007) مقدار نرخ آلودگی در مقایسه با مقادیر CI، FRS، rAUDPC تخمین

www.SID.ir

Archive of SID

غیرقابل‌اعتمادی از مقاومت نسبی یا تدریجی است، که در پژوهش حاضر نیز این نتیجه بدست آمد. نرخ آلودگی برخی ارقام و لاین‌ها، که بر اساس شاخص‌های دیگر، دارای سطح متوسط و پایین مقاومت نسبی هستند با مقادیر نرخ آلودگی ظاهری تناسب ندارند. این حالت در ارقام یا لاین‌هایی مانند MV17 و N-93-15 به ترتیب با مقدار r=0.128 و r=0.157 دیده شد. در این بررسی ژنوتیپ‌هایی که بر اساس شاخص‌های دیگر به عنوان گروه دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند، نرخ آلودگی بین r=0.095 تا r=0.128 داشتند. لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی نیز دارای نرخ آلودگی بین r=0.113 تا r=0.164 بودند.

همبستگی پارامترهای مقاومت تدریجی و واکنش گیاهچه‌ای: در این بررسی همبستگی بین شاخص‌های مقاومت نسبی و واکنش‌های گیاهچه‌ای (برای دو پاتوتیپ) نیز مورد مطالعه قرار گرفت. رابطه مثبت و معنی‌داری بین شدت نهایی بیماری (FDS) با مقادیر ضریب آلودگی (CI)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC)، و نرخ آلودگی ظاهری (r) به ترتیب با مقادیر ضریب همبستگی ۹۹، ۹۶ و ۶۳ درصد مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین ضریب همبستگی بین FDS و CI به دست آمد (r = 0.99) و پایین‌ترین مقدار همبستگی بین واکنش‌های گیاهچه‌ای (برای هر دو پاتوتیپ) و نرخ آلودگی ظاهری مشاهده شد (r= 0.20 و r= 0.22). مقادیر نرخ آلودگی ظاهری با مقادیر شاخص‌های دیگر نیز همبستگی پایینی داشت. همبستگی مثبت و بالای مشاهده شده در این پژوهش بین پارمترهای مقاومت نسبی (مرحله گیاه بالغ)، با نتایج محققین دیگر در پاتوسیستم‌های غلات مطابقت داشت (Sandoval-Islas et al., 2007; Tabassum, 2011; Safavi and Afshari, 2017b). به عنوان مثال، می‌توان به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین rAUDPC با شاخص‌های مقاومت کمی از جمله دوره نهان آلودگی و فراوانی تولید اسپور در واحد سطح برگ اشاره کرد (Sandoval-Islas et al., 2007). همچنین، ضریب همبستگی بالایی بین rAUDPC و کاهش عملکرد در مطالعات محققین مختلف دیده شده است (Ochoa and Parlevliet, 2007; Safavi, 2015). در این مطالعه، ضریب همبستگی شاخص‌های مختلف مقاومت نسبی با واکنش‌های گیاهچه‌ای پایین بود. این همبستگی پایین واکنش گیاه بالغ با واکنش گیاهچه‌ای، می‌تواند به علت ماهیت متفاوت بیان ژن‌های مقاومت گیاه بالغ و گیاهچه‌ای باشد. از طرف دیگر، تغییرات در فراوانی و نوع پاتوتیپ در زمان‌های یادداشت‌برداری تحت شرایط مزرعه (گیاه بالغ) و گلخانه (گیاهچه‌ای) نیز در این امر می‌تواند دخیل باشد.

تنوع ژنتیکی بر اساس تجزیه خوشه‌ای: تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها که براساس داده‌های واکنش مرحله گیاه بالغ و گیاهچه‌ای انجام گرفت، سه گروه اصلی را برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مشخص ساخت. شاهد حساس با بیشترین فاصله ژنتیکی از بقیه ارقام و لاین‌ها جداشد و در گروه جداگانه‌ای قرار گرفت (شکل ۲ گروه D)، بقیه لاین‌ها در سه گروه اصلی A، B و C قرار گرفتند. در گروه اصلی C دو زیر گروه قرار گرفتند، سه لاین یا رقم که دارای مقادیر بالای واکنش گیاه بالغ و بنابراین بدون مقاومت نسبی یا تدریجی بودند در زیر گروه C1 قرار گرفتند. تعداد شش رقم یا لاین دیگر هم که دارای سطح پایین و یا بدون مقاومت نسبی بودند، در زیر گروه دوم (C2) قرار گرفتند. گروه اصلی دیگر (A) ده رقم یا لاین به شماره‌های ۴، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۳، ۲۴ و ۲۵ را شامل شد که به طور کلی به دلیل دارا بودن داده‌های بالای مقادیر اندازه‌گیری شده، دارای مقاومت نسبی یا تدریجی در سطح متوسط یا پایین بودند. گروه اصلی B نیز هشت لاین یا رقم به شماره‌های ۷، ۹، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۶

www.SID.ir

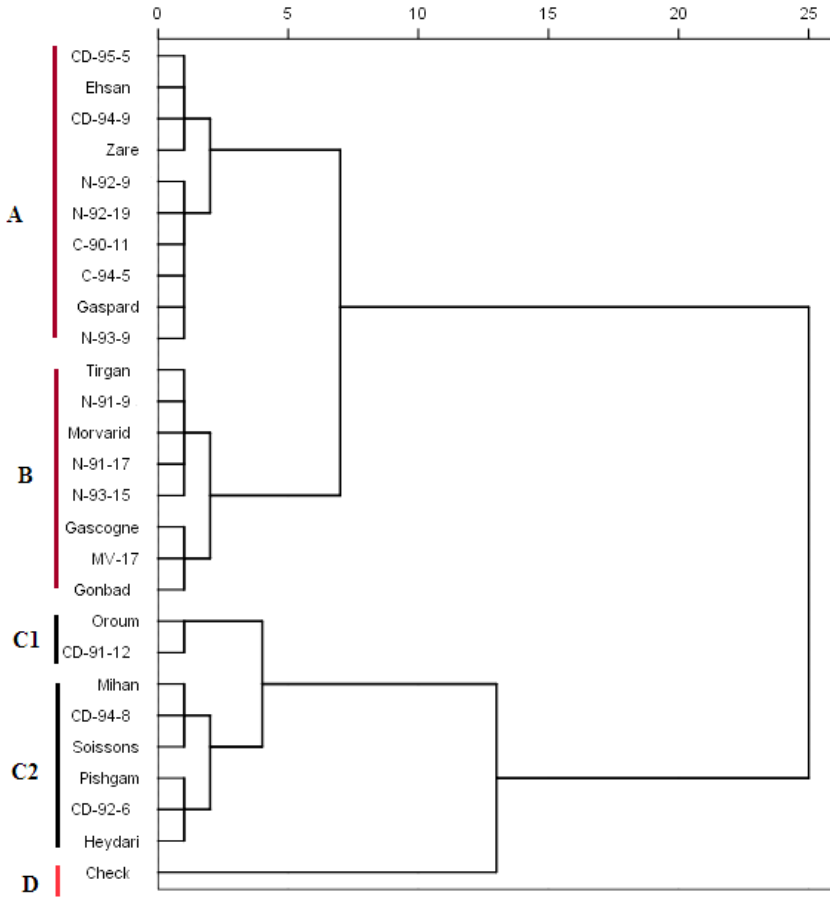
Archive of SID

جدول ۴- ضرایب همبستگی خطی بین واکنش‌های گیاهچه‌ای و شاخص‌های مقاومت نسبی نسبت به زنگ سیاه در ۲۷ رقم و لاین منتخب گندم

Table 4. Linear correlation coefficients between partial resistance parameters and seedling infection types to stem rust in 27 wheat cultivars and selected elite lines

Parameters[1]	Seedling IT2	FDS	CI	rAUDPC	*r*
FDS	0.28^{NS}	-			
CI	0.28^{NS}	0.99^{**}	-		
rAUDPC	0.33^{NS}	0.96^{**}	0.95^{**}	-	
r	0.20^{NS}	0.63^{**}	0.68^{**}	0.61^{**}	-
Seedling IT1	0.46^{*}	0.44^{*}	0.43^{*}	0.48^{*}	0.22^{NS}

1- FDS: final disease severity, CI: coefficients of infection, Seedling infection type, rAUDPC: relative area under disease progress curve, *r*: apparent infection rate and seedling infection types for two patotypes TKTTF (isolate of Parsabad) and TTTTF.
^{NS}; Non significant., *, **; Significant at the P < 0.05 and P < 0.01, respectively.



شکل ۲- گروه‌بندی ارقام و لاین‌های منتخب گندم بر اساس واکنش گیاهچه‌ای و مقادیر شاخص‌های مقاومت نسبی نسبت به زنگ سیاه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای

Figure 2. Denderogram of cluster analysis for wheat cultivars and selected lines based on seedling reaction and partial resistance parameters against stem rust

www.SID.ir

Archive of SID

را در بر گرفت که دارای سطح مطلوب تا متوسط مقاومت نسبی بودند. تنوع بین ارقام و لاین‌ها بر اساس داده‌های واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ بالا بود و تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های بیماری این تنوع را تایید کرد که اشاره به وجود تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه دارد. در مطالعه مشابهی Hei et al. (2015) و Safavi and Afshari (2017b) هم بر اساس داده‌های مختلف بیماری تنوع بالایی را بین ارقام یا لاین‌های مورد مطالعه گندم نسبت به زنگ زرد و زنگ سیاه گزارش کردند. تنوع مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های به نژادی نسبت به زنگ ساقه به کار گرفته شود. این کار از کشت ارقام دارای تنوع ژنتیکی پایین در مقاومت نسبت به زنگ ساقه جلوگیری خواهد کرد.

نتیجه گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه واکنش‌های متنوعی نسبت به زنگ سیاه نشان می‌دهند. اگرچه واکنش‌ها از نیمه مقاوم تا کاملاً حساس متغیر بودند، اما به طور کلی بیشتر ارقام و لاین‌های ارزیابی شده تحت شرایط آلودگی بالا واکنش نیمه‌حساس یا نیمه‌حساس تا حساس به بیماری نشان دادند. در بین ژنوتیپ‌های بررسی شده تیپ‌های مختلف مقاومت نسبی یا تدریجی (غیر اختصاص - نژادی) مشاهده شدند. ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۹ و ۲۰ مقادیر پایینی از CI، FDS، *r* و rAUDPC نشان دادند و به عنوان گروه دارای سطح مطلوب مقاومت نسبی در نظر گرفته شدند. ارقام یا لاین‌های شماره ۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۶ مقادیر متوسطی از شاخص‌های مقاومت به زنگ ساقه را نشان دادند و به عنوان لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت نسبی برای زنگ ساقه در نظر گرفته شدند. ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۷، ۲۰، ۲۱ و ۲۶ با توجه به واکنش گیاهچه‌ای حساس (حداقل در برابر یک پاتوتیپ) و واکنش نیمه‌مقاوم تا نیمه‌حساس در مرحله گیاه بالغ به احتمال زیاد دارای تعداد ژن مقاومت نسبی بیشتری در برابر عامل بیماری هستند. در صورت جمع شدن ۵-۴ ژن مقاومت غیر اختصاص- نژادی، مقاومت این ژنوتیپ‌ها نزدیک به مقاومت کامل یا مصون خواهد بود. در معرفی ارقام مقاوم علاوه بر تاکید بر مقاومت پایدار نسبت به زنگ ساقه، بهتر است مقاومت پایدار نسبت به زنگ زرد و بیماری‌های مهم دیگر گندم نیز مد نظر قرار گیرند تا ارقام از تولید پایداری برخوردار باشند.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت مالی سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل تحت پروژه خاص به شماره ۹۸۰۷۲۶-۱۴۳-۰۳-۳۷-۰۴ اجرا گردیده است. بدینوسیله از کلیه همکاران محترم موسسه و مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل که در اجرای این تحقیق ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌کنیم.

REFERENCES

Admassu, B., Friedt, W., and Ordon, F. 2012. Stem rust seedling resistance genes in Ethiopian wheat cultivars and breeding lines. African Crop Science Journal, 20: 149–161.

Afshari, F. 2012. Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici)* and reaction of wheat genotypes to the disease. Iranian Journal of Plant Protection Science, 43: 357–365.

www.SID.ir

Archive of SID

Ali, S., Shah, S.J.A., and Maqbool, K. 2008. Field-based assessment of partial resistance to yellow rust in wheat germplasm. Journal of Agriculture and Rural Development, 6: 99–106.

Alo, F., Al-Saaid, W., Baum, M., Alatwani H., and Amri, A. 2018. Slow rusting of bread wheat landraces to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* under artificial field inoculation. Arab Journal of Plant Protection, 36 (2): 164 –175.

Anonymous. 2016. Agriculture production. FAOSTAT Agriculture Data. Available at http://www.fao.org.

Anonymous. 2017. Spread of damaging wheat rust continues: new races found in Europe, Africa, Central Asia. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Available at http://www.fao.org/news/story/en/item/469467/icode/.

Bhattacharya, S. 2017. Deadly new wheat disease threatens Europe's crops. Nature, 542: 145–146.

Boyd, L. A. 2005. Centenary review: can Robigus defeat an old enemy? -Yellow rust of wheat. The Journal of Agricultural sciences, 143: 233-243.

Bux, H., Ashraf, M., Hussain, F., Rattu, A.U.R., and Fayyaz, M. 2012. Characterization of wheat germplasm for stripe rust (*Puccini striiformis* f. sp. *tritici*) resistance. Australian Journal of Crop Science, 6: 116–120.

Chen, X. M. 2005. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. Canadian Journal of Plant Pathology, 27: 314–337.

Chen, X. M. 2013. Review article: high-temperature adult-plant resistance, key for sustainable control of stripe rust. American Journal of Plant Sciences, 4: 608–627.

Chen, X., Coram, T., Huang, X., Wang M., and Dolezal, A., 2013. Understanding molecular mechanisms of durable and non-durable resistance to stripe rust in wheat using a transcriptomics approach. Current Genomics, 14: 111–126.

Denbel, W., Badebo, A., and Alemu, T. 2013. Evaluation of Ethiopian commercial wheat cultivars for resistance to stem rust of wheat race 'UG99'. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4: 15 –24.

Flor, H. H. 1956. The complementary genetic systems in flax and flax rust. Advanced Genetics, 8: 29-54.

Goutam, U., Kukreja, S., Yadav, R., Salaria, N., Thakur, K., and Goya, A. K. 2015. Recent trends and perspectives of molecular markers against fungal diseases in wheat. Frontiers in Microbiology, 6: 861.

www.SID.ir

Archive of SID

Hei, N., Shimelis, H. A., Laing, M., and Admassu, B. 2015. Assessment of Ethiopian wheat lines for slow rusting resistance to stem rust of wheat caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Journal of Phytopathology, 163: 353–363.

Herrera-Foessel, S. A., Lagudah, E. S., Huerta-Espino, J., Hayden, M. J., Bariana, H. S., Singh, D., and Singh, R. P. 2011. New slow-rusting leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr67* and *Yr46* in wheat are pleiotropic or closely linked. Theoretical and Applied Genetics, 122: 239–49.

Hodson, D. 2013. Localized stem rust epidemic in southern Ethiopia extreme caution and vigilance needed in East Africa and Middle East region. A global wheat rust monitoring system. Available at http://rusttracker.cimmyt.org/?p=5473 (verified Feb 12, 2014).

Jin, Y., and Singh, R. P. 2006. Resistance in US wheat to recent eastern Africa isolates of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* with virulence to resistance gene *Sr31*. Plant Disease, 90: 476–480

Jin, Y., Pretorius, R. A., Singh, R. P., and Fetch, T. J. 2008. Detection of virulence to resistance gene Sr24 within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease, 92: 923–926.

Jin, Y., Szabo, L. J., Rouse, M. N., Fetch, T. J., Pretorius, Z. A., Wanyera, R. and Njau, P. 2009. Detection of virulence to resistance gene Sr36 within the TTKS race lineage of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease, 93: 367–370.

Kumar, S., Phogat, B. S., Vikas, V.K., Sharma, A.K., Saharan, M.S., Singh, A.K., et al. 2019. Mining of Indian wheat germplasm collection for adult plant resistance to leaf rust. PLoS One, 14(3): e0213468. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213468.

McIntosh, R. A., Wellings, C. R., and Park, R. F. 1995. Wheat rusts, an atlas of resistance genes. CSIRO, Melbourne. 200 pp.

Mitiku, M., Hei, N. B., and Abera, M. 2018. Characterization of slow rusting resistance against stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in selected bread wheat cultivars of Ethiopia. Advances in Crop Science and Technology, 6: 389. doi:10.4172/2329-8863.1000389.

Malihipour, A., Safavi, S. A., Nasrollahi, M., Ahmadi, G. H., Tabatabei, S. N., and Houshyar, R. 2019. Investigation of efficiency of stem rust resistance genes in Iran during 2018 and 2019 through the implementation of stem rust trap nurseries. In: Proceeding of The First Iranian Plant Pathology Congress, 13 August-01 September, Karaj, Iran. Aavailable at https://fippc.ut.ac.ir/paper?manu=37834.

Navabi, A., Singh, R. P., Tewari, J. P., and Briggs, K. G. 2004. Inheritance of high levels of adult-plant resistance to stripe rust in five spring wheat genotypes. Crop Science, 44: 1156 – 1162.

www.SID.ir

Archive of SID

Nzuve, F. M., Bhavani, S., Tusiime G., Njau, P., and Wanyera, R. 2012. Evaluation of bread wheat for both seedling and adult plant resistance to stem rust. African Journal of Plant Science, 6: 426– 432.

Olivera, P., Newcomb, M., Szabo, L. J, Rouse, M., Johnson, J., Gale, S., Luster, D. G., Hodson, D., Cox, J. A., Burgin, L., Hort, M., Gilligan, C. A., Patpour, M., Justesen, A. F., Hovmøller, M. S.,Woldeab, G., Hailu, E., Hundie, B., Tadesse, K., Pumphrey, M., Singh, R. P., and Jin, Y. 2015. Phenotypic and genotypic characterization of race TKTTF of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013-14. Phytopathology 105: 917–928.

Ochoa, J., and Parlevliet, J. E. 2007. Effect of partial resistance to barley leaf rust, *Puccinia hordei*, on the yield of three barley cultivars. Euphytica, 153: 309-312.

Pandey, H. N., Menon, T. C. M., and Rao, M. V. 1989. A single formula for calculating area under disease progress curve. Rachis, 2: 38–39.

Pathan, A. K., and Park, R. F. 2006. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. Euphytica, 149: 327–342.

Patpour, M., Hovmoller, M. S., Shahin, A. A., Newcomb, M., Olivera, P., Jin, Y., Luster, D., Hodson, D., Nazari, K., and Azab, M. 2016. Emergence of virulence to *SrTmp* in the Ug99 race group of wheat stem rust, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, in Africa. Plant Disease, 100(2): 522.

Patpour, M., Nazari, K., Ogbonnaya, F., Alavi, S. M., and Mousavi, A. 2014. Phenotypic and molecular characterization of resistance to stem rust in wheat cultivars and advanced breeding lines from Iran and Syria. Crop Breeding Journal 4, (1): 1–14.

Peterson, R. F., Campbell, A. B., and Hannah, A. E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. Canadian Journal of Research, 26: 496–500.

Pretorius, Z. A., Singh, R. P., Wagoire, W. W., and Payne T. S. 2000. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. Plant Disease, 84: 203.

Roelfs, A. P., Singh, R. P., and Saari, E. E. 1992. Rust diseases of wheat: Concepts and Methods of Diseases Management. Mexico, D.F.CIMMYT. 81 pp.

Roohparvar, R., and Omrani, A. 2018. Race analysis of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* led to identification of the new race TTKTK, affecting *Sr31* and *SrTmp*, in Iran. In: Proceeding of 2018 BGRI Technical Workshop, 14–17 April, Marrakech, Morocco. Avaiable at https://globalrust.org/rgenes/srtmp.

www.SID.ir

Archive of SID

Rouse, M. N., Nava, I. C., Chao, S., Anderson, J. A., and Jin, Y. 2012. Identification of markers linked to the race Ug99 effective stem rust resistance gene *Sr28* in wheat *(Triticum aestivum L.)* Theoretical and Applied Genetics, 125: 877–885.

Safavi, S. A. and Afshari, F. 2012. Quantitative resistance of some Elite wheat lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 45:740–749.

Safavi, S.A. 2015. Effects of yellow rust on yield of race-specific and slow rusting resistant wheat genotypes. Journal of Crop Protection, 4: 395–408.

Safavi, S. A., and Afshari, F. 2017a. First report of virulence to resistance gene *Sr25* by the stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in Ardabil, North West of Iran. Iranian Journal of Plant Pathology, 53: 119–122.

Safavi, S. A., and Afshari, F. 2017b. A seven-year assessment of resistance durability to yellow rust in some wheat cultivars in Ardabil province, Iran. Journal of Crop Protection, 6: 409–421.

Safavi, S. A., and Malihipour, A. 2018. Effective and ineffective resistance genes and reaction of promising wheat lines to stem rust in Ardabil. Journal of Crop Protection, 7: 4015-427.

Saleem, K., Imran Arshad, H. M., Shokat, S., and Manzoor, Atta, B. 2015. Appraisal of wheat germplasm for adult plant resistance against stripe rust. Journal of Plant Protection Research, 55: 405–414.

Sandoval-Islas, J. S., Broers, L. H. M., Mora-Aguilera, G., Parlevliet, J. E., Osada, K. S. and Vivar, H. E. 2007. Quatitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. Euphytica, 153: 295–308.

Sawhney, R. N. 1995. Genetics of Wheat-Rust Interaction. Plant Breeding Review, 13: 293–343.

Shah, S. J. A., Hussain, S., Ahmad, M., Farhatullah, M. and Ibrahim, M. 2014. Characterization of slow rusting resistance against *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in candidate and released bread wheat cultivars of Pakistan. Journal of Plant Pathology and Microbiology, 5: 223. doi:10.4172/2157-7471.100022.

Singh, D., Simmonds, J., Park, R. F., Bariana, H. S., and Snape, J. W. 2009. Inheritance and QTL mapping of leaf rust resistance in the European winter wheat cultivar “Weaver”. Euphytica, 169:253–261.

Singh, K. V., Singh, G. P., Singh, P. K., and Aggarwal, H. R. 2017. Assessment of slow rusting resistance components to stripe rust pathogen in some exotic wheat germplasm. Indian Phytopathology, 70: 52–57.

www.SID.ir

Archive of SID

Singh, R. P. 1992. Association between gene *Lr34* for leaf rust resistance and leaf tip necrosis in wheat. Crop Science, 32: 874-878.

Singh, R. P. Nelson, J. C., and Sorrells, M. E. 2000. Mapping Yr28 and other genes for resistance to stripe rust in wheat. Crop Science, 40: 1148–1155.

Singh, R. P., Huerta-Espino, J., and William, H. M. 2005. Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29, 121–127.

Singh, R. P., Hodson, D.P., Jin, Y., and Huerta-Espino, J. 2006. Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race UG99 (TTKS) of stem rust pathogen. CAP review: Perspective in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 1:1–13.

Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Bhavani, S., Herrera-Foessel, S. A., Singh, D., Singh, P. K., Velu, G., Mason, R. E., Jin, Y., Njau, P., and Crossa, J. 2011. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. Euphytica, 179:175–186.

Singh, R. P., Hodson, D. P., Jin, Y., Lagudah, E. S., Ayliffe, M. A., Bhavani, S., Rouse, M. N., Pretorius, Z. A., Szabo, L. J., Huerta-Espino, J., Basnet, B. R., Lan, C., and Hovmøller, M. S. 2015. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: Continued threat to food security and prospects of genetic control. Phytopathology, 105: 872–84.

Stakman, E. C., Stewart, D.M., and Loegering, W.Q. 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Washington, D. C., United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1–53.

Stubbs, R.W., Prescott, J. M., Saari, E. E., and Dubin, H. J. 1986. Cereal disease methodology manual. CIMMYT: Mexico, D. F. P. 46.

Tabassum, S. 2011. Evaluation of advance wheat lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). Journal of Agricultural Science, 3: 239–249.

Van der Plank, J. E. 1968. Disease Resistance in Plants. New York, Academic Press. 206 pp.

Xu, X. F., Li, D. D., Liu, Y., Gao, Y., Wang, Z. Y., Ma, Y. C., Yang, S., Cao, Y. Y., Xuan, Y. H., and Li, T. Y. 2017. Evaluation and identification of stem rust resistance genes *Sr2*, *Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr31* and *Sr38* in wheat lines from Gansu province in China. PeerJ, 5: e4146.

Yu, L., Barbier, H., Matthew, N. R., Singh, S., Singh, R. P., Bhavani, S., Huerta-Espino, J., and Sorrells, M. E. 2014. A consensus map for Ug99 stem rust resistance loci in wheat. Theoretical of Applied Genetics, 127: 1561–1581.

www.SID.ir

Archive of SID

© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

www.SID.ir

Archive of SID

Partial resistance of some wheat cultivars and candidate lines against stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)

S. Safavi[1*] and A. Malihipour[2]

1. ***Corresponding Author:** Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ardabil, Iran (Safaralisafavi@yahoo.com)
2. Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

(DOI): 10.22055/PPR.2020.15644

Received: 5 April 2020 Accepted: 17 June 2020

Abstract

Background and Objectives

Among biotic stresses, stem (black) rust, caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* is considered to be the most destructive disease of wheat in some countries and its damage reaches 100% in the years of epidemic on susceptible cultivars. Lack of durable resistance in wheat cultivars is the main reason for the black rust epidemics that can limit wheat production in some parts of the world. Today, it is possible to manage rusts with effective and new fungicides. However, growing resistant cultivars is the most effective, economical, and environmentally safe approach for disease management. Therefore, this study was performed in order to identify potential sources of partial resistance to black rust, which is a stable and non-race specific.

Materials and Methods

The partial resistance parameters including coefficient of infection (CI), final disease severity (FDS), apparent infection rate (r) and relative area under disease progression curve (rAUDPC) were assessed in a set of twenty six wheat genotypes along with susceptible control (Mixture of McNair and line; CD-90-12) during 2018-2019 cropping year. This study was conducted in field plots at Ardabil Agricultural Research Station (Iran). All genotypes were evaluated under natural infection conditions against race population having virulence to resistance genes; *Sr25, Sr5, Sr6, Sr7a, Sr9e, Sr13, Sr23, Sr28, Sr29, Sr30, Sr33, Sr34, Sr37, SrDP2, SrGT, SrWLD, SrH and SrTmp*. Seedling reaction was also appraised under greenhouse conditions against TKTTF (two isolates) and TTTTF pathotypes.

Results

The results showed that genotypes Gascogne, MV17 and Gonbad having low levels of CI, FRS, r and rAUDPC were considered as the group with desirable level of partial resistance. Nine cultivars/lines showed moderate values of resistance parameters and were considered as genotypes with moderate level of partial resistance for stem rust. Six lines had low partial resistance and the rest of the lines were grouped in susceptible group without any partial resistance.

www.SID.ir

Archive of SID

Discussion

Genotypes Zare, Gascogne, Gonbad, N-91-9, and N-91-15 due to susceptible reaction (at least against to one pathotype) at seedling and moderately resistant to moderately susceptible response at the adult plant stage are likely to have the more number of partial resistance genes. Genotypes with desirable and moderate levels of partial resistance identified from this study can be used to introduce candidate varieties or in wheat breeding programs to stem rust.

Keywords: Wheat, stem rust, pathotype, partial resistance, area under disease progress curve

www.SID.ir