پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۹ (۴): ۴۷-۳۳ (۱۳۹۹)

DOI: 10.22034/ARPP.2021.12125

ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت نسبی (Partial resistance) نسبت به بیماری زنگ زرد در تعدادی از لاین‌های منتخب گندم

دریافت: ۹۹/۱/۱۹ بازنگری: ۹۹/۸/۱۴ پذیرش: ۹۹/۱۰/۷

صفرعلی صفوی

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✉).

چکیده

زنگ زرد گندم با عامل *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* یکی از مهم‌ترین و مخرب‌ترین بیماری‌های گندم در بسیاری از مناطق ایران به شمار می‌رود که در سال‌های همه‌گیری موجب کاهش عملکرد محصول می‌گردد. مقاومت میزبانی، اقتصادی‌ترین روش مدیریت زنگ زرد است و مقاومت نسبی (نوعی مقاومت کمی) در مقایسه با دیگر مقاومت‌ها، مقاومت پایداری گزارش شده است. در این مطالعه، پارامترهای مقاومت نسبی (partial resistance) شامل ضریب آلودگی (CI)، شدت نهائی بیماری (FDS)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) و نرخ آلودگی ظاهری (*r*) برای ۲۴ ژنوتیپ گندم همراه با شاهد حساس طی دو سال زراعی از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ ارزیابی شدند. این مطالعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق اردبیل تحت شرایط آلودگی طبیعی و مصنوعی انجام شد. آلودگی مصنوعی ژنوتیپ‌ها با استفاده از جمعیت نژادی زنگ زرد که دارای پرآزاری روی ژن‌های مقاومت *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr17*، *Yr22*، *Yr23*، *Yr24*، *Yr25*، *Yr26*، *Yr27*، *YrA*، *Yr21*، *Yr31*، *Yr32* و *YrSU* بود، انجام شد. واکنش گیاهچه‌ای نیز تحت شرایط مزرعه‌ای ارزیابی شد. نتایج ارزیابی‌ها برای پارامترهای مقاومت نشان داد که شش لاین در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل مقاوم بودند. یازده لاین در مرحله گیاهچه‌ای واکنش مقاومت ولی در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) یا حساسیت تا نیمه‌حساسیت (MSS) نشان دادند. هفت لاین (شماره‌های ۱، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۶، ۲۲) در مرحله گیاهچه‌ای حساس ولی در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) نشان دادند. بنابراین این لاین‌ها با داشتن مقادیر پایین پارامترهای مختلف مقاومت به احتمال زیاد دارای درجات متفاوتی از مقاومت نسبی یا مقاومت گیاه کامل در درجه حرارت بالا (نوعی مقاومت غیر نژاد- اختصاصی یا پایدار) می‌باشند. تجزیه خوشه‌ای بر اساس واکنش گیاهچه‌ای و گیاه کامل، لاین‌ها را در گروه‌های مختلفی قرار داد که این حالت نیز بیانگر تنوع بالای لاین‌ها از نظر واکنش نسبت به بیماری زنگ زرد بود.

کلمات کلیدی : گندم، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل، *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*

Field-based assessment of partial resistance to yellow rust in some candidate wheat lines

Received: 7 Apr 2020 Revised: 4 Nov 2020 Accepted: 27 Dec 2020

Safarali Safavi[ID]

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✉).

Abstract

Wheat yellow rust, caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *titici*, is one of the most important and most destructive diseases of wheat in many parts of Iran, which decreases crop yield in epidemic years. Host resistance is the most economical method for the management of yellow rust and partial resistance (a type of quantitative resistance), proven to be more durable than other types of resistances. In this study, partial resistance parameters including coefficient of infection (CI), final disease severity (FDS), relative area under disease progress curve (rAUDPC) and apparent infection rate (r) were evaluated in a set of twenty-four wheat genotypes along with susceptible control during two crop years from 2015 to 2016. The research was conducted at Allarough Agricultural Research Station in Ardabil, under natural and artificial inoculation conditions. Artificial infection of genotypes was performed using the yellow rust race population having virulence for *Yr2, Yr6, Yr7, Yr9, Yr17, Yr22, Yr22, Yr23, Yr24, Yr25, Yr26, Yr27, Yr26, Yr27, Yr21, Yr21, Yr31, Yr32* and *YrSU* resistance genes. Seedling response was also evaluated under field conditions. The evaluation of resistance parameters showed that six lines were resistant at both seedling and adult plant stages. Eleven lines showed resistance reaction at seedling stage, but moderate or susceptible reactions at adult plant stage. Seven lines (entries; 1, 4, 7, 8, 9, 16, 22) were susceptible at the seedling and had moderate (MR, M or MS) reactions at adult plant stages. Therefore, these lines having low values of different resistance parameters are likely to have varying degrees of partial resistance or high temperature adult plant resistance (a type of non-specific or durable resistance). Cluster analysis based on the reaction of seedling and adult plant, divided the lines into different groups, which also indicated a high diversity of lines in response to yellow rust disease.

Keywords: Wheat, Seedling resistance, Adult plant resistance, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*.

How to cite:

Safavi SA, 2021. Field-based assessment of partial resistance to yellow rust in some candidate wheat lines. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 9 (4): 33–47.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گندم مهم‌ترین محصول زراعی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه از جمله ایران محسوب می‌شود (Rharrabti *et al.* 2003)، و بیش از نیمی از کالری مصرفی و حدود نصف پروتئین مورد نیاز یک سوم جمعیت جهان را تامین می‌کند (Dixon *et al.* 2009). بیماری‌های رایج گندم که باعث محدودیت تولید آن می‌شوند، شامل زنگ قهوه‌ای با عامل *Puccinia triticina* Erikss.، زنگ سیاه ایجاد شده توسط *P. graminis* f. sp. *tritici* Pers. و زنگ زرد با عامل *P. striiformis* Westend. می‌باشند. عوامل بیماری‌های زنگ به سیستم تنفسی گیاه آسیب زده، قسمت‌های هوائی را از بین برده، باعث کاهش عملکرد و کیفیت دانه می‌شوند (Line 2002; Chen 2005). در میان زنگ‌ها، زنگ زرد دارای انتشار وسیع‌تری بوده و به دلیل ظهور نژادهای مهاجم‌تر در نزدیک هیمالیا، هنوز هم به‌عنوان مهم‌ترین تهدید گندم محسوب می‌شود (Hovmøller *et al.* 2016). Jin *et al.* (2010)، براساس مطالعات آزمایشگاهی (*In vitro*) برای اولین بار بوته‌های زرشک را به‌عنوان میزبان واسط زنگ زرد گندم گزارش کردند. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی، گیاه زرشک را به‌عنوان میزبان واسط زنگ زرد گندم تایید کرده‌اند (Jin 2011; Zhao *et al.* 2013; Rodriguez-Algaba *et al.* 2014; Wang *et al.* 2015; Rabbaninasab *et al.* 2017). در ایران نیز نتایج بررسی‌های Mehdinia *et al.* (2016) نشان داده است که بوته‌های زرشک می‌توانند میزبان ایسیومی زنگ زرد و سیاه باشند. بنابراین، با توجه به داده‌های بدست آمده از مطالعات یاد شده، زنگ زرد نیز مانند زنگ سیاه دو میزبانه و ماکروسیکلیک می‌باشد.

زنگ زرد موجب کاهش عملکرد گندم در تمامی مناطق کشت گندم در دنیا می‌شود (Dusunceli *et al.* 1996; Morgounov *et al.* 2012). در شرایط آب و هوایی مناسب برای توسعه بیماری، تولید کنندگان گندم خسارت اقتصادی جبران ناپذیری را متحمل می‌شوند (Chen 2005). کاهش عملکرد ایجاد شده توسط زنگ زرد بستگی به چندین عامل دارد که از جمله آن‌ها می‌توان حساسیت رقم، زمان آلودگی، نرخ پیشرفت بیماری و دوره بیماری را نام برد (Chen 2005). زنگ زرد در صورت آلودگی زودهنگام و بقاء بیماری روی ارقام حساس، شرایط مناسب آب و هوائی و زمان طولانی استقرار بیماری، می‌تواند ۱۰۰-۹۰ درصد خسارت بزند (Afzal *et al.* 2007). Singh *et al.* (2004) گزارش کردند که بیماری‌های زنگ عملکرد دانه را در ارقام حساس تا ۵۰٪ کاهش می‌دهند. در تحقیقات برخی محققین بین عملکرد و اجزای عملکرد با شدت نهائی بیماری (Final Disease Severity (FDS)) همبستگی معنی‌دار مشاهده گردید (Ali *et al.* 2007) که نشان می‌دهد فشار بالای بیماری به‌طور معنی‌داری عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در طی فصل زراعی ۲۰۱۰-۲۰۰۹ همه‌گیری زنگ زرد در مناطقی از آسیای غربی و مرکزی اتفاق افتاد وکشورهای سوریه و ترکیه از جمله کشورهایی بودند که از این همه‌گیری خسارت شدیدی دیدند و در اثر این بیماری نیمی از محصول گندم آن‌ها از بین رفت (Aktas & Zencirci 2016). مزارع گندم در کشورهای دیگر هم در اثر این همه‌گیری کاهش عملکرد نشان دادند (به عنوان مثال در اتیوپی ۴۵٪ و در مراکش و ازبکستان ۳۵٪) (Yahyaoui & Rajaram 2012). همه‌گیری‌های زنگ زرد در کشورهای دیگر از جمله چین (Wan *et al.* 2004) پاکستان و ایران (Bimb & Johnson 1997) موجب کاهش عملکرد گندم در طی سال‌های مختلف گردیده است. در طی فصل زراعی ۹۶-۱۹۹۵ همه‌گیری مشابهی در ناحیه چوکوراوا در ترکیه اتفاق افتاد و عملکرد گندم را تا ۵۰٪ کاهش داد (Dusunceli *et al.* 1996).

در طی دهه‌های گذشته چندین همه‌گیری از بیماری در بیشتر نواحی گندم‌خیز ایران نیز گزارش شده است که به‌عنوان مثال در سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵ به‌ترتیب باعث کاهش عملکرد ۱/۵ و ۱ میلیون تن از محصول گندم گردید (Torabi *et al.* 1995). برخی از نقاط جنوبی و جنوبی غرب ایران نقش مهمی در جلوگیری یا انتشار بیماری زنگ زرد در سراسر کشور دارند. زیرا این عامل بیماری ابتدا از شمال آفریقا یا خاورمیانه به این مناطق از کشور وارد شده سپس از طریق باد به مناطق شمالی و مرکزی ایران منتقل شده و سبب همه‌گیری‌های شدیدی می‌شود (Morgounov *et al.* 2012).

امروزه مدیریت بیماری زنگ زرد با استفاده از قارچ‌کش‌های جدید و موثر امکان پذیر شده است (Chen 2005). با وجود این، کشت ارقام مقاوم موثرترین، اقتصادی‌ترین و از لحاظ محیطی سالم‌ترین روش مدیریت بیماری است (Line & Chen 1995). دو نوع مقاومت کمی (Quantitative resistance) و کیفی (Qualitative resistance) در چندین پاتوسیستم زنگ- غلات گزارش گردیده است (Sandoval-Islas *et al.* 2007). به‌کارگیری ژن‌های مقاومت کیفی (نژاد- اختصاصی) (Race-specific resistance) کنترل موثر و کاملی در برابر بیماری فراهم می‌کند

www.SID.ir

Archive of SID

(Shah *et al*. 2010)، اما این نوع مقاومت که به تشخیص اختصاصی بین فراورده ژن مقاومت میزبان (*R*) و فراورده ژن غیربیماریزائی پاتوژن (*Avr*) بستگی دارد، از تئوری ژن برای ژن (Flor 1956) پیروی می‌کند. این نوع مقاومت پایدار نبوده و به زودی شکسته می‌شود (Boyd 2005). برخلاف مقاومت کیفی، مقاومت کمی یا غیر نژاد- اختصاصی (Race- non specific resistance) اساس چندژنی داشته و اغلب به‌عنوان مقاومت نسبی (Partial resistance) و یا مقاومت تدریجی (Slow rusting resistance) تعریف شده (Parlevliet 1979) و مقاومت پایدارتری می‌باشد (Herrera-Fossel *et al.* 2007).

تا سال ۲۰۱۸ تعداد ۷۹ ژن *Yr* برای مقاومت به زنگ زرد گندم شناسائی و به‌کار گرفته شده‌اند (Feng *et al.* 2018) با وجود این، بیشتر این ژن‌ها اختصاص- نژادی بوده و در کنترل جمعیت‌های بیمارگر به‌دلیل ظهور نژادهای جدید غیرموثر خواهند شد. میانگین طول عمر ژن‌های مقاومت نژاد- اختصاصی در سطح جهانی پنج سال برآورد می‌گردد (Kilpatric 1975). برای مثال، ژن‌های مقاومت *Yr2*، *Yr3*، *Yr4* ، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9* و *YrA* به‌طور وسیعی در برنامه‌های به‌نژادی سیمیت (CIMMYT) به‌کار گرفته شده‌اند (Badebo *et al*. 1990)، اما هیچ یک از این ژن‌ها در سطح جهانی موثر نیستند (Broers *et al.* 1996; Sharma-Poudyal *et al.* 2013). در سال‌های اخیر در برخی از کشورهای اروپائی، آسیائی و آمریکای شمالی پرآزاری برای ژن-های مقاومت *Yr1*، *YrTr1*، *Yr8*، *Yr76*، *Yr17* و *Yrsp* نیز مشاهده شده است و ارقام حاوی این ژن‌ها کارائی خود را ازدست داده‌اند (Wang *et al.* 2018; Omrani & Roohparvar 2020).

تا به حال دو نوع مقاومت کمی، یعنی مقاومت نسبی و مقاومت گیاه کامل در درجه حرارت بالا (High temperature adult plant) resistance = HTAPR به طور وسیعی بررسی شده‌اند (Line 2002). در بسیاری از پاتوسیستم‌های زنگ-غلات، مفاهیم کمی مقاومت ارقام تشریح شده و مقادیر آن در مرحله گیاه کامل با اندازه‌گیری شدت نهائی بیماری (Final rust severity = FRS) در مرحله مشخصی از رشد گیاه، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری(Area Under Disease Progress Curve =AUDPC)، نرخ‌آلودگی ظاهری (Apparent infection rate) و متوسط ضریب آلودگی (Average of Coefficient of infection) برآورد می‌شود (Broers *et al.* 1996; Pathan & Park 2006). محققین مختلفی با استفاده از این پارامترها مقادیر کمی مقاومت ارقام و لاین‌ها را در سطح مزرعه مشخص کرده‌اند (Sandoval-Islas *et al.* 2007; Ali *et al.* 2009; Shah *et al*. 2010; Safavi & Afshari 2012). در بررسی‌های این محققین همبستگی بالای پارامترهای شدت نهائی بیماری، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با یکدیگر مشخص گردیده است.

سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) معیار کمی از کل مقاومت بوده و تمام مولفه‌های مقاومت نظیر فراوانی آلودگی(Infection frequency)، دوره نهان آلودگی (Latent period)، اندازه اوریدینیوم و اسپورزائی را در یک سطح مشخص می‌سازد (Bux *et al*. 2012). علت مطالعه پارامترهای یاد شده در شرایط مزرعه‌ای، همبستگی پایین ($r = 0.5$) برخی مولفه‌های مقاومت نسبی یا 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 نژاد- اختصاصی (مانند مقاومت نسبی) در مرحله گیاه کامل انجام می‌گیرد (Singh *et al.* 2011)، لذا در بررسی حاضر نیز پارامترهای مقاومت نسبی در مرحله گیاه کامل همراه با واکنش گیاهچه‌ای در شرایط مزرعه‌ای مطالعه شدند.

مواد و روش‌ها

بررسی واکنش گیاهچه‌ای

بررسی واکنش گیاهچه‌ای ۲۴ لاین کاندید گندم، دریافتی از بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (جدول ۱)، همراه با شاهد حساس به‌دلیل فراهم بودن شرایط آلودگی طبیعی طی فصل بهار در اردبیل، بر اساس روش Zeng *et al*. (2014) تحت شرایط مزرعه‌ای و در برابر جمعیت نژادی زنگ زرد (مخلوط نژادها) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق (واقع در فاصله ۱۵ 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 ۱۳۴۲ متر) انجام شد. هر رقم به میزان سه گرم روی دو خط ۲۰ سانتی-متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر روی یک پشته کاشته شد و بعد از هر ۱۰ رقم و نیز در کل حاشیه آزمایش روی دو خط ۲۰ سانتی‌متری (یک پشته) رقم حساس کشت گردید. آزمایش گیاهچه‌ای بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار و در سال ۱۳۹۵ انجام شد. در زمان ظهور علائم روی رقم حساس (در حد تیپ آلودگی هفت یا بالاتر) یادداشت‌برداری

www.SID.ir

Archive of SID

انجام شد. واکنش گیاهچه‌ای بر اساس معیار ۹-۰ به روش Line & Qayoum (1992) انجام شد. در این روش تیپ‌های آلودگی هفت یا بیشتر به‌عنوان حساس، تیپ‌های آلودگی چهار الی شش متوسط و تیپ‌های آلودگی کمتر از چهار به‌عنوان مقاوم در نظر گرفته شدند.

ارزیابی واکنش گیاه بالغ

در بررسی مزرعه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، پارامترهای مختلف مقاومت نسبی شامل ضریب آلودگی، شدت نهائی بیماری، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری و نرخ آلودگی ظاهری در ایستگاه تحقیقات کشاورزی آلاروق ارزیابی شدند. هر کدام از لاین‌ها (لاین‌های بررسی شده در مرحله گیاهچه‌ای) به میزان ده گرم روی دو خط یک متری روی پشته با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر کاشته شدند و بعد از هر ده رقم و نیز در کل حاشیه آزمایش روی پشته دو خط یک متری رقم حساس موروکو کشت گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار انجام و در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری غرقابی، وجین علف‌های هرز و کودپاشی انجام شد. مایه‌زنی مصنوعی خزانه در فاصله بین زمان ساقه‌دهی تا قبل از ظهور برگ پرچم با مخلوطی از اسپورهای نژاد/نژادهای زنگ زرد جمع‌آوری شده از سال قبل (در همین خزانه در اردبیل) و پودر تالک به کمک گردپاش و در هنگام غروب انجام گردید. این نژاد/ نژادهای قارچ عامل بیماری بر روی ژن‌های *Yr2*، *Yr6*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr17*، *Yr22*، *Yr23*، *Yr24*، *Yr25*، *Yr26*، *Yr27*، *YrA*، *Yr21*، *Yr31*، *Yr32* و *YrSU* دارای پرآزاری (Virulence) می‌باشد (Safavi *et al*. 2013; Safavi 2019). یادداشت برداری از شدت بیماری زنگ زرد در سه نوبت و به فاصله هر هفت روز یک‌بار از زمان ظهور برگ‌پرچم تا مرحله گلدهی براساس مقیاس اصلاح شدهٔ کاب پیشنهادی Peterson *et al*. (1948) انجام شد. همچنین از واکنش گیاه (تیپ آلودگی) (Infection type = IT) بر اساس روش Roelfs *et al*. (1992) یادداشت‌برداری گردید. سپس داده‌های مربوط به شدت بیماری و عکس العمل میزبان با هم ترکیب شده و از ترکیب آن‌ها ضریب آلودگی محاسبه شد. ضریب آلودگی از ضرب شدت بیماری در ثابت مربوط به عکس‌العمل میزبان (Immune = 0.0, R = 0.2, MR = 0.4, M = 0.6, MS = 0.8, S = 1) بدست آمد (Stubbs *et al*. 1986).

محاسبه سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) بر اساس روش Milus & Line (1986) 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_3, x_2, x_1 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 × ۱۰۰) / AUDPC رقم حساس

نرخ آلودگی ظاهری نیز مطابق روش Van der Plank (1968) براساس فرمول زیر برای هر رقم 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 مذکور می‌باشد.

گروه‌بندی لاین‌ها براساس مقادیر مختلف مقاومت نسبی به روش Patahn & Park (2006) و Ali *et al*. (2007) انجام شد. همچنین گروه‌بندی نمونه‌ها با تجزیه خوشه‌ای به کمک نرم افزارSPSS (نسخه ۲۲) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج واکنش گیاهچه‌ای

بر اساس نتایج بررسی واکنش گیاهچه‌ای به روش (Line & Qayoum (1992، ۲۴ لاین مختلف گندم همراه با شاهد حساس در سه گروه متفاوت قرار گرفتند (جدول‌های۲ و ۴). لاین‌های شماره‌های ۲، ۳، ۶، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ با تیپ‌های آلودگی کمتر از چهار به‌عنوان گروه مقاوم در نظر گرفته شدند. لاین‌های شماره‌های ۵، ۱۲، ۲۱، ۲۳ و ۲۴ با داشتن تیپ آلودگی چهار الی شش به‌عنوان گروه دارای مقاومت گیاهچه‌ای متوسط و هفت لاین دیگر همراه با شاهد حساس با تیپ‌های آلودگی هفت یا بیشتر به‌عنوان گروه حساس دسته‌بندی شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. شجره لاین‌های کاندید گندم مورد بررسی در ارزیابی مزرعه‌ای پارامترهای مقاومت نسبی نسبت به زنگ زرد.

Table 1. Pedigree of candidate wheat lines used in evaluation of partial resistance parameters against yellow rust.

No.	Line code	Pedigree/Parents
1	MS-87-8	1-66-22/3/Alvd//Aldan/Las
2	DW-90-4	SOMAT_4/INTER_8/3/EUPODA_3/SLA_2//MINIMUS
3	DW-90-8	SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM
4	DW-90-13	SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3/4/STORLOM/3/RAS…
5	DM-88-17	NA[1]
6	S-89-15	SLVS*2/PASTOR
7	S-91-6	Alvand//Aldan"s"/IAS58/3 /Vee/Nac
8	S-91-13	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR
9	S-91-15	PRL/2*PASTOR/4/CHOIX/STAR/3/HE1/3*CNO79//2*SERI
10	C-85-3	Ghk"S"/Bow"S"//90Zong87/3/Shiroodi
11	C-88-4	Gascogene/Col No.3625//Alamoot
12	C-91-4	Zrn/Shiroodi/6/Zrn/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu
13	CD-91-8	Jagger 'sib'/3/Lagos-7//Guimatli 2/17
14	CD-91-11	Zander//Attila/3*Bcn (-0SE-0YC-0YE-3YE-0YE-2YE-0YE)
15	CD-91-12	Solh
16	N-90-7	OASIS/SKAUZ//4*BCN/3/2*PASTOR
17	N-91-8	PFAU/MILAN/5/CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/VEE#7/BOW/4/PASTOR
18	N-91-9	PFAU/MILAN/3/SKAUZ/KS94U215//SKAUZ
19	N-91-10	TILHI/5/PF74354//LD/ALD/4/2*BR12*2/3/JUP//PAR214*6/FB6631/6/ATTILA/2*PASTOR
20	N-91-17	MILAN/S87230//BABAX
21	WS-89-7	Kauz/Pastor/PBW343
22	WS-90-10	Falat/Barakat/ 5/Omid/4/ Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal/Emu
23	WS-90-18	CROC_1/AE.SQUARROSA (2247)//OPATA/3/PASTOR
24	M-90-16	SHARP/3/PRL/SARA/TSI/VEE#5/5/VEE/LIRA//BOW/3/BCN/4/KAUZ
25	**Check**	Morocco

1: NA; not available.

جدول ۲. گروه‌بندی لاین‌های کاندید گندم بر اساس واکنش گیاهچه‌ای نسبت به زنگ زرد در شرایط مزرعه‌ای.

Table 2. Grouping of candidate wheat lines based on seedling infection type against stripe rust under field conditions.

No.	Lines	Seedling infection type	Group
1	2, 3, 6, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20	0-3	Resistant
2	5, 12, 21, 23, 24	4-6	Moderate
3	1, 4, 7, 8, 9, 16, 22, 25	7-9	Susceptible

نتایج واکنش گیاه بالغ

بر اساس میانگین نتایج بررسی واکنش گیاه بالغ طی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، لاین‌ها در گروه‌های مختلفی قرار گفتند (جدول‌های ۳ و ۴، شکل ۱). لاین‌های شماره ۲، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۷، ۱۹ و ۲۰ واکنش مقاومت (R) یا مقاومت تا نیمه‌مقاومت (R/MR) با آلودگی جزئی و لاین‌های شماره ۶ ،۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۸ و ۲۳ واکنش نیمه‌مقاومت (MR) نشان دادند. هفت لاین هم واکنش نیمه مقاومت تا نیمه حساسیت (MR/MS) نشان دادند. لاین‌های شماره ۱، ۷ و ۲۲ واکنش متوسط (M) یا متوسط تا نیمه حساس (M/MSS) و تنها یک رقم (شاهد) واکنش حساسیت نشان دادند.

نتایج ارزیابی‌ها برای پارامترهای مقاومت نشان داد که شش لاین در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل مقاوم بودند. یازده لاین در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم ولی در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) یا حساس تا نیمه حساس (MSS) نشان دادند. هفت لاین (شماره‌های ۱، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۶، ۲۲) در مرحله گیاهچه‌ای حساس ولی در مرحله گیاه کامل واکنش متوسط (MR, M, MS) نشان دادند.

www.SID.ir

Archive of SID

در بررسی حاضر داده‌های پارامترهای 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 لاین‌های کاندید واکنش‌های متفاوتی نسبت به فشار بیماری نشان می‌دهند (جدول ۴) که در بخش‌های جداگانه‌ای به طور تفصیلی در خصوص تنوع هر یک از پارامترهای مقاومت در ژنوتیپ‌های مختلف بحث می‌شود.

جدول ۳. گروه‌بندی لاین‌های کاندید گندم بر اساس واکنش گیاه بالغ نسبت به زنگ زرد در شرایط مزرعه‌ای.

Table 3. Grouping of candidate wheat lines based on adult plant infection type against stripe rust under field conditions.

No.	Lines	Adult plant infection type	Group
1	2, 5, 10, 11, 14, 17, 19, 20	R-R/MR	Resistant to moderately resistant
2	6, 12, 13, 15, 18, 23	MR	Moderately resistant
3	3, 4, 8, 9, 21, 24, 16	MR/MS	Moderately resistant or moderately susceptible
4	1, 7, 22	M-M/MSS	Moderate to moderate or moderately susceptible
5	25	S	Susceptible

تنوع پارامتر ضریب آلودگی: در این بررسی ترکیب داده‌های شدت بیماری و واکنش میزبان برای محاسبه ضرایب آلودگی استفاده شدند. براساس روش Patahn & Park (2006) و Hei *et al.* (2015) ارقام یا لاین‌هایی با مقادیر ضریب آلودگی ۲۰-۰، ۴۰-۲۱، ۶۰-۴۱ به ترتیب دارای مقاومت نسبی بالا، متوسط و پایین در نظر گرفته می‌شوند. در این بررسی ۷۹ درصد از لاین‌ها در دسته اول (گروه دارای سطح بالای مقاومت نسبی) قرار گرفتند (جدول ۴). با وجود این که تعداد زیادی از لاین‌ها در گروه اول قرار گرفتند، ولی تعدادی از این لاین‌ها به دلیل داشتن تیپ آلودگی پایین (واکنشR) در مرحله گیاه کامل و تیپ آلودگی مقاوم در مرحله گیاهچه‌ای مقاوم، دارای ژن/ژن‌های مقاومت نژاد- اختصاصی هستند. اما از طرف دیگر، از آنجا که ژن‌های مقاومت غیرنژاد- اختصاصی توسط ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای پوشیده می‌مانند (Chen 2005)، احتمالا دارای ژن-های مقاومت گیاه بالغ نیز هستند. با توجه به نتایج بررسی‌های سال‌های قبل که نشان می‌دهد نژاد زنگ زرد اردبیل روی ژن‌های *Yr3v*، *Yr3a*، *Yr4a*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr16*، *YrCV*، *YrSD*، *YrND* ناپرآزاری دارد (Safavi 2019)، بنابراین احتمال دارد ارقام مقاوم (در مرحله گیاهچه‌ای) به صورت انفرادی یا ترکیبی حامل این ژن‌ها یا ژن‌های ناشناخته دیگر باشند.

تعدادی از لاین‌ها به علت داشتن ضریب آلودگی بین ۴۰-۲۱، به‌عنوان لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت نسبی گروه-بندی شدند (جدول ۴). در این مطالعه هیچ لاینی ضریب آلودگی بالا (۴۱-۶۰) را نشان نداد، بنابراین هیچ لاینی دارای سطح پایین مقاومت نسبی نبود. همچنین به جز رقم حساس موروکو هیچ لاین دیگری ضریب آلودگی بالاتر از ۶۰ نشان نداد.

برخی از لاین‌ها در شجره خود دارای ارقام Attila، Vee/Nac (در شجره رقم شیرودی که در لاین‌های شماره ۱۰ و ۱۲ استفاده شده است، وجود دارد)، Babax، Bluebird (Bb) و Pastor هستند، این ارقام به دلیل دارا بودن تعدادی ژن مقاومت نسبی یا تدریجی نسبت به زنگ زرد، سیاه 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 نژاد-اختصاصی *Yr18*، *Yr29*، *Yr30*، *Yr36*، *Yr46* و ژن‌های دیگر اشاره کرد، که به صورت انفرادی یا در ترکیب با یکدیگر در ژرم پلاسم مقاوم مانند Chapio، Tukuru، Kukuna، Vivitsi، Pastor و Trap (Singh *et al.* 2005; Singh *et al.* 2011) وجود دارند. اخیرا برخی از این ارقام در تلاقی‌های مربوط به برخی از لاین‌های امیدبخش گندم ایران (به غیر از لاین‌های مورد بررسی در این تحقیق) به کار گرفته شده‌اند.

مطالعات انجام شده در سیمیت (CIMMYT) نشان داده 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 *Yr46* نیز با ژن *Lr67* پیوستگی دارد (Herrera-Foessel *et al.* 2011). این ژن‌های مقاومت، مسئول مقاومت نسبی (تدریجی) در برابر زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای 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 نژادهای عامل زنگ ساقه مقاوم هستند، یافت می‌شود (Singh *et al.* 2000).

ژن‌های مقاومت نسبی یا تدریجی *Yr29* و *Yr30* به‌طور وسیعی در ژرم پلاسم گندم سیمیت استفاده شده‌اند (Singh *et*

www.SID.ir

Archive of SID

al. 2005). ژن‌های مقاومت *Yr18/Lr34* با ژن نکروز نوک برگ (Ltn1) پیوستگی دارند. ژن‌های مقاومت نسبی *Yr46/Lr67* نیز با ژن دیگر نکروز نوک برگ (*Ltn3*) پیوستگی دارند (Kumar *et al*. 2019). نکروز نوک برگ یک ویژگی مورفولوژیکی است که پیوستگی کامل با ژن‌های مختلف مقاومت نسبی نسبت به زنگ زرد، قهوه‌ای، سیاه و سفیدک سطحی نشان می‌دهد (Singh 1992; Kumar *et al*. 2019) و در مواردی می‌تواند به‌عنوان 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 ژن-های *Sr55* (دارای مقاومت نسبی نسبت به زنگ سیاه) و ژن *Pm46* (دارای مقاومت نسبی نسبت به سفیدک سطحی گندم) نیز پیوستگی دارد. ژن‌های *Yr18* و *Yr29* نیز به ترتیب با ژن‌های *Pm38*، *Stb1* (ژن مقاومت به لکه‌برگی سپتوریایی گندم)، *Bdv1*، *Sr57* و ژن‌های *Pm39*، *Lr46*، *Sr58* پیوستگی دارند (Singh *et al*. 2015).

با توجه به مقادیر ضریب آلودگی روی رقم حساس (جدول ۴) فشار بیماری به‌طور قابل توجهی بالا بود. با وجود این، بیشترین مقدار ضریب آلودگی ثبت شده در بین ژنوتیپ‌های بررسی شده ۴۰ درصد شاهد حساس بود که مربوط به لاین WS-10-90 بود. در حالیکه بقیه 23 ژنوتیپ تا 32 درصد شاهد حساس ضریب آلودگی داشتند. براساس این نتایج نژاد/نژادهای زنگ زرد اردبیل روی بیشتر لاین‌های ارزیابی شده دارای بیماری‌زائی نبودند (جدول ۴). با توجه به واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ در ژنوتیپ‌های بررسی شده طی این مطالعه، برخی لاین‌ها ژن مقاومت نژاد- اختصاصی یا ترکیبی از ژن‌های مقاومت نژاد-اختصاصی را حمل می کنند که می‌توانند در برابر طیف پرآزاری عامل بیماری در شرایط مزرعه‌ای اردبیل موثر باشند. توجه به این نکته ضروری است که لاین‌های دارای مقاومت نژاد-اختصاصی اغلب در عرض چند سال بعد از معرفی حساس می-شوند. این حالت به علت تکامل سریع نژادهای بیماری‌زای بیمارگر است (Chen 2005; Singh *et al*. 2011). برای جلوگیری از شکست مقاومت چنین لاین‌ها یا ارقامی بهتر است ترکیب دو نوع مقاومت نژاد- اختصاصی و غیرنژاد- اختصاصی در یک ژنوتیپ به‌کار گرفته شود. وجود حداقل ۵-۴ ژن مقاومت غیر-نژاد- اختصاصی در یک رقم باعث مقاومت رقم در حد مصونیت خواهد بود (Singh *et al*. 2011).

لاین‌هایی که دارای مقاومت نسبی مطلوب هستند به‌دلیل داشتن دوره نهان آلودگی طولانی، سرعت همه‌گیری بیماری را کاهش داده و به‌طور مستقیم روی تغییر نژادها اثر گذار نیستند. زیرا در این لاین‌ها مقاومت توسط تعدادی ژن کوچک‌اثر (Minor genes) 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 (Hovmoller *et al*. 2011). بنابراین محققین، با توجه به توانایی بالای بیمارگر در تغییر پرآزاری، بایستی چند ژن مقاومت نسبی (غیرنژاد- اختصاصی) یا ترکیب ژن مقاومت غیرنژاد-اختصاصی با مقاومت گیاهچه‌ای (نژاد- اختصاصی) را به جای استفاده صرف از مقاومت نژاد- اختصاصی به‌کار گیرند.

تنوع لاین‌ها در شدت نهایی زنگ زرد: داده‌های شدت نهایی بیماری (FDS) در ۲۴ ژنوتیپ همراه با شاهد حساس در جدول ۴ نشان داده شده است. فشار بیماری در محل اجرای این پژوهش بالا بود، به‌طوری که بیشترین مقدار شدت نهائی بیماری ۱۰۰ درصد و مربوط به شاهد حساس و برای لاین‌های WS-90-10، S-91-13 و S-91-15 به ترتیب ۵۰٪، ۴۵٪ و ۴۵٪ برآورد شد. بر اساس داده‌های شدت نهایی بیماری و مطابق روش (Hei *et al*. 2015) و Ali *et al*. (2007) لاین‌های بررسی شده در این مطالعه در دو گروه دارای مقاومت تدریجی بالا و متوسط قرار گرفتند که به‌ترتیب مقادیر شدت نهایی بیماری در آن‌ها ۳۰-۱٪ و ۵۰-۳۱٪ بود. هیچ ژنوتیپی مقادیر بالای FDS (۷۰-۵۰٪) را نشان نداد. بنابراین هیچ لاینی دارای مقاومت نسبی پایین نبود. طبق نظر محققین مختلف، لاین‌های گروه دارای مقاومت نسبی بالا و متوسط می‌توانند درجات مختلف مقاومت پایدار را دارا باشند و می‌توانند به‌عنوان والدین خوبی برای به‌نژادی به‌کار گرفته شوند (Hei *et al*. 2015; Singh *et al*. 2017).

در بررسی واکنش لاین‌های مختلف گندم نسبت به زنگ زرد، محققین دیگری مانند Broers *et al*. (1996)، (Singh *et al*. 2017) و Safavi & Afshari (2017) نیز از ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت نسبی یا تدریجی استفاده نمودند. این محققین دریافتند که مقاومت لاین‌ها بر اساس پارامترهای مختلف مقاومت کمی (نسبی یا تدریجی) از سطح خیلی پایین تا سطح خیلی بالا متغیر بودند. لاین‌هایی که تیپ آلودگی متوسط (با واکنش‌های MR،

www.SID.ir

Archive of SID

MSو M) نشان داده و درصد آلودگی پایینی دارند، چنین لاین-هایی به احتمال زیاد دارای ژن‌های کوچک‌اثر بوده و به صورت افزایشی عمل می‌کنند (Brown *et al*. 2001; Singh *et al*. 2005). در این ژنوتیپ‌ها احتمال وجود ژن‌های کنترل کننده مقاومت نسبی (مانند*Yr18*) همراه با ژن‌های دیگر مقاومت نسبی مانند *Yr29*) و یا ژن‌های مقاومت گیاه کامل در دمای بالا (HTAPR) زیاد است. از آنجا که این نوع مقاومت‌ها به‌دلیل اثر افزایشی ژن‌ها مدت زمان زیادی پایدار می‌مانند (Singh *et al*. 2011; Chen 2013)، بنابراین بایستی بیشتر مورد توجه پژوهشگران به نژادی غلات قرار گیرند.

تنوع ارقام در مقادیر rAUDPC: بر اساس داده‌های rAUDPC لاین‌های منتخب در دو گروه متفاوت دسته‌بندی شدند. در این دسته‌بندی که بر اساس روش Ali *et al*. (2009) انجام گرفت، گروه اول شامل ژنوتیپ‌هایی است که مقدارrAUDPC آن‌ها کمتر از ۱ تا ۳۰ درصد رقم حساس و گروه دوم شامل لاین‌هایی است که مقدار rAUDPC آن‌ها کمتر از ۳۱ تا ۷۰ درصد رقم حساس است. در این لاین‌ها، ابتدا عامل بیماری زنگ زرد شروع به اسپورزائی می‌کند اما در نهایت جوش‌های کوچک همراه با نواحی سوخته و رنگ پریده (تیپ‌های آلودگی MS یا MR یا هردو) در برگ دیده می‌شوند. بنابراین، پیشرفت بیماری کند شده و محدود می‌گردد.

ژنوتیپ‌های گروه یک به‌عنوان گروه دارای سطح مطلوب تدریجی و لاین‌های گروه دو به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی دسته‌بندی می‌شوند. علت این گروه-بندی، عدم داشتن توانائی همه‌گیری بالا علی رغم بروز نشانه-هایی با تیپ آلودگی بالا می‌باشد. انتظار می‌رود، لاین‌هایی گروه یک دارای تعداد ژن بیشتری برای مقاومت نسبی یا تدریجی باشند (Ali *et al*. 2009; Hei *et al*. 2015). به استثناء ژنوتیپ-های شماره ۱، ۸، ۹ و ۲۲ که مقادیر rAUDPC بالای بین ۳۰ تا ۷۰ درصد رقم حساس داشتند، بقیه ۲۰ ژنوتیپ (٪۸۳) مقادیر مساوی یا کمتر از ۳۰ درصد رقم حساس نشان دادند و به‌عنوان گروه دارای سطح مطلوب مقاومت نسبی گروه‌بندی شدند. این گروه شامل ژنوتیپ‌هایی با درجات متفاوت مقاومت نسبی هستند، و به‌نظر می‌رسد که دارای مقاومت پایداری باشند (Singh *et al*. 2005; Hei *et al*. 2015). علاوه بر این، لاین‌های دارای سطح قابل قبول مقاومت نسبی یا تدریجی، تکامل نژادهای جدید بیمارگر را محدود می‌کنند، زیرا که جهش‌های چند نقطه-ای در طبیعت بی‌نهایت نادر می‌باشند (Ali *et al*. 2007). بر اساس مقادیرrAUDPC، هیچ یک از لاین‌های بررسی شده در این مطالعه مقادیرrAUDPC بالاتر از ۵۰ نشان ندادند.

تنوع ارقام از نظر نرخ آلودگی ظاهری: نرخ آلودگی ظاهری با استفاده از رابطه‌های ریاضی مربوطه سرعت پیشرفت بیماری در لاین‌های مورد بررسی برآورد گردید. نرخ آلودگی ظاهری (r) تمام ژنوتیپ‌های مطالعه شده در این پژوهش، کمتر از شاهد حساس بود (جدول۴). بعد از شاهد حساس، بالاترین میانگین مقدار نرخ آلودگی ($r = 0.127$) برای لاین MS-87-8 ثبت گردید که بعد از آن لاین WS-90-10 با مقدار میانگین نرخ آلودگی $r =$ 0.125 قرار داشت. این ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر CI و FDS در گروه دارای مقاومت تدریجی متوسط قرار داشتند. طبق بررسی-های Hei *et al*. (2015) و Sandoval-Islas *et al*. (2007) مقدار نرخ آلودگی در مقایسه با مقادیر CI، FRS، rAUDPC تخمین غیرقابل اعتمادی از مقاومت نسبی است، که در پژوهش حاضر نیز این نتیجه بدست آمد. نرخ آلودگی برخی لاین‌ها، که بر اساس پارامترهای دیگر دارای سطح متوسط و پایین مقاومت نسبی هستند، با مقادیر نرخ آلودگی ظاهری تناسب ندارند. این حالت در لاین‌هایی مانند S-91-13 و S-91-15 به ترتیب با مقدار $r =$ 0.064 و $r = 0.075$ دیده می‌شود. در این بررسی ژنوتیپ‌هایی که بر اساس پارامترهای دیگر به‌عنوان گروه دارای سطح متوسط مقاومت نسبی گروه‌بندی شدند، نرخ آلودگی کمتر از $r = 0.127$ دارند. لاین‌های دارای سطح مطلوب مقاومت نسبی نیز دارای نرخ آلودگی بین $r = 0.000$ تا $r = 0.099$ بودند.

همبستگی واکنش گیاهچه‌ای و پارامترهای مقاومت نسبی: در پژوهش حاضر، همبستگی بین واکنش گیاهچه‌ای و پارامترهای مقاومت نسبی نیز مورد بررسی قرار گرفت. رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC)، با شدت نهایی آلودگی (FDS)، مقادیر ضریب آلودگی (CI) و نرخ آلودگی ظاهری (r) به‌ترتیب با مقادیر ضریب همبستگی ۹۹، ۹۶ و ۹۱ درصد مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین ضریب همبستگی بین FDS با rAUDPC و AUDPC به‌دست آمد ($r = 0.99$) و پایین‌ترین مقدار همبستگی بین واکنش گیاهچه‌ای و نرخ آلودگی ظاهری مشاهده شد ($r = 0.73$). همبستگی مثبت و بالای مشاهده شده در این پژوهش با نتایج پژوهشگران دیگر در پاتوسیستم‌های گیاهچه‌ای با واکنش گیاه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. نتایج ارزیابی مزرعه‌ای واکنش گیاهچه‌ای و میانگین پارامترهای مقاومت نسبی نسبت به زنگ زرد در برخی از لاین‌های کاندید گندم طی سال‌های زراعی۱۳۹۴ و ۱۳۹۵.

Table 4. Results of field-based assessment of partial resistance parameters against yellow rust in some of candidate wheat lines during two cropping years 2015 and 2016.

			Mean values for partial resistance parameters[3] in 2015					Mean values for partial resistance parameters in 2016					Mean values for partial resistance parameters during two years				
No.	Lines	Seedling infection type[1]	FDS & IT[2]	CI	AUDPC	rAUDPC	r	FDS & IT	CI	AUDPC	rAUDPC	R	FDS & IT	CI	AUDPC	rAUDPC	r
1	MS-87-8	7	40M	24	420	37	0.124	40M	24	335	36	0.129	40M	24	378	37	0.127
2	DW-90-4	1	30MS	24	305	27	0.092	R	0.2	13	1	0.000	16R/MS	12	159	14	0.046
3	DW-90-8	3	30MS	24	305	27	0.092	20MR	8	188	20	0.064	25MR/MS	16	247	24	0.078
4	DW-90-13	7	30MS	24	305	27	0.092	30MR	12	245	26	0.105	30MR/MS	18	275	27	0.099
5	DM-88-17	4	20MR	8	265	23	0.058	R	0.2	13	1	0.000	11R/MS	4	139	12	0.029
6	S-89-15	3	20MR	8	228	20	0.055	30MR	12	245	26	0.105	25MR	10	237	23	0.080
7	S-91-6	7	30M	18	268	24	0.089	40MSS	36	335	36	0.129	35M/MSS	27	302	30	0.109
8	S-91-13	7	30MR	12	360	32	0.061	60MS	48	635	68	0.066	45MR/MS	30	498	50	0.064
9	S-91-15	7	20MR	8	228	20	0.055	70MS	56	725	78	0.095	45MR/MS	32	477	49	0.075
10	C-85-3	2	R	0.2	15	1	0.000	R	0.2	13	1	0.000	1R	0	14	1	0.000
11	C-88-4	2	R	0.2	15	1	0.000	10MR	4	13	1	0.000	1R/MR	2	14	1	0.000
12	C-91-4	5	20MR	8	228	20	0.055	20MR	8	188	20	0.064	20MR	8	208	20	0.060
13	CD-91-8	3	20MR	8	228	20	0.055	10MR	4	13	1	0.000	11MR	6	121	11	0.028
14	CD-91-11	3	R	0.2	15	1	0.000	R	0.2	13	1	0.000	1R	0	14	1	0.000
15	CD-91-12	2	10MR	4	118	10	0.051	R	0.2	13	1	0.000	6MR	2	66	6	0.026
16	N-90-7	7	10MR	4	118	10	0.051	40MSS	36	375	40	0.078	25MR/MSS	20	247	25	0.065
17	N-91-8	2	5MR	2	50	4	0.063	R	0.2	13	1	0.000	3R/MR	1	32	3	0.032
18	N-91-9	2	20MR	8	228	20	0.055	R	0.2	13	1	0.000	11MR	4	121	11	0.028
19	N-91-10	1	10R	2	118	10	0.051	R	0.2	13	1	0.000	6R	1	66	6	0.026
20	N-91-17	2	R	0.2	15	1	0.000	R	0.2	13	1	0.000	1R	0	14	1	0.000

www.SID.ir

Archive of SID

21	WS-89-7	5	20MR	8	228	20	0.055	30MS	24	245	26	0.105	25MR/MS	16	237	23	0.080
22	WS-90-10	7	60MS	48	610	54	0.121	40MS	32	335	36	0.129	50MS	40	473	45	0.125
23	WS-90-18	5	20MR	8	228	20	0.055	30MR	12	245	26	0.105	25MR	10	237	23	0.080
24	M-90-16	5	30MS	24	305	27	0.092	30MR	12	245	26	0.105	30MR/MS	18	275	27	0.099
-	Morocco	9	100S	100	1136	100	0.329	100S	100	928	100	0.343	100S	100	1032	100	0.3۳۳

1- Seedling infection types based on Line and Qayoum (1992).

2- Infection types based on Roelfs *et al*. (1992): R = Resistant, MR = moderately resistant, M = moderately resistant to moderately susceptible, MS = moderately susceptible, MSS = moderately susceptible to susceptible, S = susceptible.

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

www.SID.ir

Archive of SID

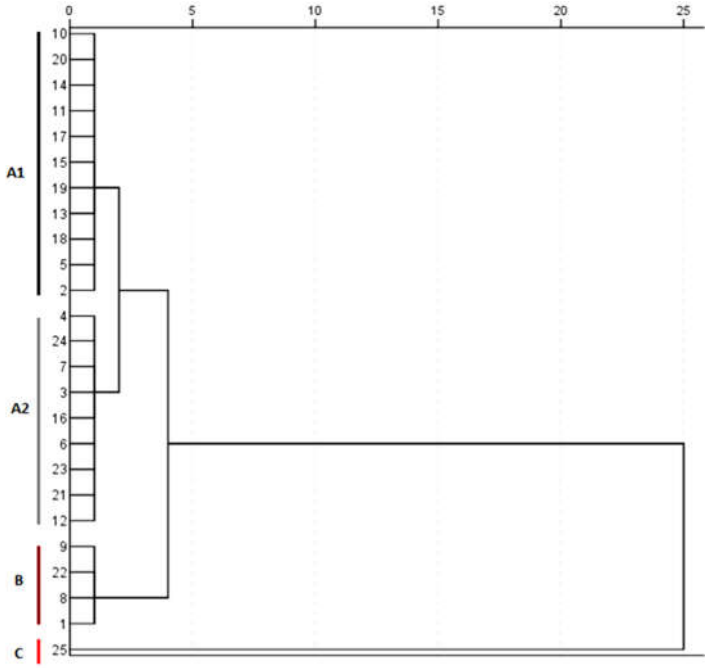
بالغ می‌تواند به غلات مطابقت داشت (Shah *et al*. 2010; Sandoval-Islas *et al*. 2007). برای مثال، می‌توان به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین rAUDPC با پارامترهای مقاومت تدریجی از جمله دوره نهان آلودگی و فراوانی تولید اسپور در واحد سطح برگ اشاره کرد (Sandoval-Islas *et al*. 2007). همچنین، ضریب همبستگی بالایی بین rAUDPC و کاهش عملکرد در مطالعات پژوهشگران مختلف دیده شده است (Safavi *et al*. 2012; Aktas & Zencirci 2016). در این مطالعه، ضریب همبستگی واکنش گیاهچه‌ای با پارامترهای مختلف مقاومت نسبی پایین بود. این همبستگی پایین واکنش علت ماهیت متفاوت بیان ژن-های مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه بالغ باشد، از طرف دیگر تغییرات در فراوانی نژادی در زمان‌های یادداشت‌برداری گیاه بالغ و واکنش گیاهچه‌ای نیز در این امر می‌تواند دخیل باشد.

جدول ۵. ضرایب همبستگی خطی بین واکنش گیاهچه‌ای و پارامترهای مقاومت نسبی نسبت به زنگ زرد در ۲۴ لاین کاندید گندم.

Table 5. Linear correlation coefficients between partial resistance parameters and seedling infection type to yellow rust for 24 wheat selected elite lines.

Parameters[1]	*r*	FDS	CI	Seedling IT	rAUDPC
FDS	0.93**	-			
CI	0.93**	0.97**	-		
Seedling IT	0.73**	0.82**	0.75**	-	
rAUDPC	0.91**	0.99**	0.96**	0.81**	-
AUDPC	0.92**	0.98**	0.96**	0.80**	0.99**

1: FDS = Final disease severity, CI = Coefficients of infection, Seedling infection type, rAUDPC = Relative area under disease progress curve, AUDPC = Area under disease progress curve, *r* = Apparent infection rate.
** Significant at P < 0.01 level of probability.



شکل ۱. گروه‌بندی لاین‌های کاندید گندم بر اساس مقادیر پارامترهای مقاومت نسبی (partial resistance) و واکنش گیاهچه‌ای نسبت به زنگ زرد با استفاده از تجزیه خوشه‌ای.

Figure 1. Denderogram of cluster analysis for some candidate wheat lines based on partial resistance parameters and seedling infection type to yellow rust.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

تنوع ژنتیکی بر اساس تجزیه خوشه‌ای: تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها که براساس داده‌های واکنش مرحله گیاه بالغ و گیاهچه‌ای انجام گرفت، سه گروه اصلی را برای لاین‌های مورد مطالعه مشخص ساخت (شکل ۱). رقم موروکو با بیشترین فاصله ژنتیکی از بقیه لاین‌ها جدا شده و در گروه جداگانه‌ای قرار گرفت (گروه C). بقیه لاین‌ها در دو گروه اصلی A و B و دو گروه فرعی A1 و A2 قرار گرفتند. درگروه اصلی اول (A) دو زیر گروه قرار گرفتند. زیر گروه اول شامل یازده لاین بود که دارای مقادیر پایین پارامترهای مقاومت نسبی بوده و به‌عنوان گروه مقاوم در نظر گرفته شدند (گروه A1). در زیر گروه دوم نیز ۹ لاین با مقادیر پایین داده‌های واکنش گیاه بالغ، دارای سطح مطلوب تا متوسط مقاومت نسبی بودند (گروه A2). در گروه اصلی B، چهار لاین که دارای مقادیر متوسط واکنش گیاه بالغ و واکنش گیاهچه‌ای حساسیت بودند و بنابراین دارای سطح متوسط مقاومت نسبی بودند، قرار گرفتند. تنوع بین لاین‌ها بر اساس داده‌های واکنش گیاهچه‌ای و گیاه بالغ نسبتا بالا بود و تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های بیماری این تنوع را تایید کردکه اشاره به تنوع ژنتیکی بالا در بین لاین-های مورد مطالعه دارد. Saleem *et al.* (2015) و Hei *et al.* (2015) هم بر اساس داده‌های مختلف بیماری، تنوع بالایی را بین ارقام یا لاین‌های مورد مطالعه گندم نسبت به زنگ زرد گزارش کردند. تنوع ژنتیکی مشاهده شده در این مطالعه، می‌تواند در برنامه‌های به نژادی نسبت به زنگ زرد گندم به‌کار گرفته شود. این کار از کشت ارقام دارای تنوع ژنتیکی پایین در مقاومت نسبت به زنگ زرد گندم جلوگیری خواهد کرد. با این اقدام و به منظور افزایش پایداری مقاومت ارقام در آینده، می‌بایست از کشت ارقامی که تنوع ژنتیکی مقاومت در میان آن‌ها پایین است خودداری نمود و تا آنجایی که امکان دارد تنوع ژنتیکی ارقام را در برنامه های اصلاحی به منظور پهنه‌بندی صحیح کشت ارقام در منطقه افزایش داد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی موسسه تحقیقات اصلاح بذر تحت پروژه به شماره ۹۳۲۹۳-۰۳- ۳۷-۲ اجرا گردیده است. بدینوسیله از کلیه همکاران محترم موسسه و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل که در اجرای این تحقیق ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌کنم.

References

Afzal SN, Haque, MI, Ahmedani MS, Bashir S, Rattu AR, 2007. Assessment of yield losses caused by *Puccinia striiformis* triggering stripe rust in the most common wheat varieties. *Pakistan Journal of Botany* 39: 2127–2134.

Aktas, H, Zencirci N, 2016. *S*tripe rust partial resistance increases spring bread wheat yield in south-eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Phytopathology* 164: 1086–1096.

Ali S, Shah SJA and Ibrahim M, 2007. Assessment of wheat breeding lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* West. *tritici*). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10: 3440–3444.

Ali S, Shah SJA, Khalil IH, Rahman H, Maqbool K, Ullah W, 2009. Partial resistance to yellow rust in introduced winter wheat germplasm at the north of Pakistan. *Australian Journal of Crop Science* 3: 37–43.

Badebo A, Stubbs RW, Van Ginkel M, Gebeyehu G, 1990. Identification of resistance genes to *Puccinia striiformis* in seedlings of Ethiopian and CIMMYT bread wheat varieties and lines. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 96: 199–210.

Bimb HP, Johnson R, 1997. Breeding resistance to yellow rust in wheat. https://repository.cimmyt.org/xmlui/handle/10883/1217?locale-attribute=en.

Boyd LA, 2005. Centenary review: can Robigus defeat an old enemy? -yellow rust of wheat. *The Journal of Agricultural Sciences* 143: 233–243.

Broers LHM, Cuesta-Subias X, Lopez-Atilano RM, 1996. Field assessment of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars. *Euphytica* 90: 9–16.

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

www.SID.ir

Archive of SID

Dixon J, Braun HJ, Crouch JH, 2009. Overview: transitioning wheat research to serve the future needs of the developing world. In: Dixon J, Braun H-J, Kosina P, Crouch J. (eds) Wheat Facts and Futures 2009. Mexico, CIMMYT, Pp. 13–17.

Dusunceli F, Cetin L, Albustan S, Beniwal SPS, 1996. Occurrence and impact of wheat stripe rust (Puccinia striiformis) In Turkey in 1994/95 crop season. *9th European and Mediterranean Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference*. Netherlands, p. 309.

Feng J, Wang M, See DR, Chao S, Zheng Y, *et al.,* 2018. Characterization of novel gene Yr79 and four additional quantitative trait loci for all-stage and high-temperature adult-plant resistance to stripe rust in spring wheat PI 182103. *Phytopathology* 108(6):737–747.

Flor HH, 1956. The complementary genetic systems in flax and flax rust. *Advanced Genetics* 8: 29–54.

Herrera-Fossel SA, Singh RP, Huerta-Espino J, Crossa J, Djurle A, *et al.,* 2007. Evaluation of slow rusting resistance components to leaf rust in CIMMYT durum wheats. *Euphytica* 155: 361–369.

Hovmøller MS, Walter S, Bayles RA, Hubbard A, Flath K, *et al*., 2016. Replacement of the European wheat yellow rust population by new races from the center of diver sity in the near-Himalayan region. *Plant Pathology* 65: 402–411.

Jin Y, 2011. Role of *Berberis* spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis. Euphytica* 179: 105–108.

Jin Y, Szabo LJ, Carson M, 2010. Century-old mystery of *Puccinia striiformis* life history solved with the identification of *Berberis* as an alternate host. *Phytopathology* 100: 432–435.

Kilpatrick RA, 1975. New cultivars and longevity of rust resistance, 1971-1975.USDA, *Agricultural Research Services.* Northeast Reg (Rep.), ARS-NE 64. Pp. 20.

Kumar S, Phogat BS, Vikas VK, Sharma AK, Saharan MS, *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.

Line R, Qayoum A, 1992. Virulence, aggressiveness, evolution, and distribution of races of *Puccinia striiformis* (the cause of stripe rust of wheat) in North America, 1968-87. USDA-ARS, *Technical Bulletin* 1788: 44 pp.

Line RF, 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: a retrospective historical review. *Annual Review of Phytopathology* 40: 75–118.

Line RF, Chen XM, 1995. Success in breeding for and managing durable resistance to wheat rusts. *Plant Disease* 79: 1254–1255.

Mehdinia F, Alaei H, Sedaghati E, Dehghani A, 2016. Distribution and genetic diversity of aecial infection on barberry and its importance to wheat yellow rust disease in Lorestan Province. *Iranian Journal of Plant Pathology* 52(2): 249–266. (In Persian with English abstract).

Milus EA, Line RF, 1986. Gene action for inheritance of durable, high– temperature, adult plant resistances to stripe rust in wheat. *Phytopathology* 76: 435–441.

Morgounov A, Tufan HA, Sharma R, Akin B, Bagic A, *et al.,* 2012. Global incidence of wheat rusts and powdery mildew during 1969–2010 and durability of resistance of winter wheat variety Bezostaya. *European Journal of Plant Pathology* 132: 323–340.

Omrani A, Roohparvar R, 2020. First report of TTKTK, a variant of the race TTKSK (Ug99) of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* with virulence on the resistance genes *Sr31* and *SrTmp* in Iran. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 9 (3): 87–89.

Parlevliet JE, 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology* 17: 203–222.

Pathan AK, Park RF, 2006. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. *Euphytica* 149: 327–342.

Peterson RF, Campbell AB, and Hannah AE, 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research* 26: 496–500.

www.SID.ir

Archive of SID

Rabbaninasab H, Razavi M, Aghajaninasab MA, Abbasi M, Saeidi S, *et al*. 2017. Study of barberry shrubs role in transferring wheat stem rust disease agent to the next season. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 6 (4): 11–20.

Rharrabti Y, Royo C, Villegas D, Aparicio N, Garcıa del Moral F, 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments: I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crop Research* 80: 123–131.

Rodriguez-Algaba J, Walter S, Sørensen CK, Hovmøller MS, Justesen AF, 2014. Sexual structures and recombination of the wheat rust fungus *Puccinia striiformis* on Berberis vulgaris. *Fungal Genetics and Biology* 70: 77–85.

Roelfs AP, Singh RP, Saari EE, 1992. Rust Diseases of Wheat: *Concepts and Methods of Diseases Management*. Mexico, CIMMYT. 81pp.

Safavi SA, 2019. Effectiveness of resistance genes to stripe rust and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* during two years monitoring in Ardabil. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 8 (3): 95–107.

Safavi SA, 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 SA, Afshari F, 2017. 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 SA, Afshari F, Yazdansepas A, 2013. Effective and ineffective resistance genes to wheat yellow rust during six years monitoring in Ardabil. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 46: 774–780.

Safavi SA, Babai-Ahari A, Afshari F, Arzanlou M, 2012. Effect of yellow rust on yield components of barley cultivars with race-specific and slow rusting resistance to yellow rust. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 45 (12): 1488–1498.

Safavi SA, Ghazvini H, Mohammadzade J, 2019. Field-based assessment of slow rusting resistance against yellow rust in irrigated barley promising lines. *Seed and Plant Improvement Journal* 34 (4): 355–376.

Saleem K, Imran-Arshad HM, Shokat S, 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 JS, Broers LHM, Mora-Aguilera G, Parlevliet JE, Osada KS, *et al.*, 2007. Quatitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. *Euphytica* 153: 295–308.

Shah SJA, Muhmmad M, Hussain S, 2010. Phenotypic and molecular characterization of wheat for slow rusting resistance against *Puccinia striiform*is Westend. f. sp. *tritici. Journal of Phytopathology* 158: 393–402.

Sharma-Poudyal D, Chen XM, Wan AM, Zhan GM, Kang ZS, *et al*., 2013. Virulence characterization of international collections of the wheat stripe rust pathogen, *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 97: 379–386.

Singh RP, Huerta-Espino J, Bhavani S, Herrera-Foessel SA, Singh D, *et al*. 2011. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. *Euphytica* 179:175–186.

Singh RP, Huerta-Espino J, William HM, 2005. Genetics and breeding for durable resistance to leaf and stripe rusts in wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29: 121–127.

Singh RP, Nelson JC, Sorrels ME, 2000. Mapping *Yr28* and other genes for resistance to stripe rust in wheat. *Crop Science* 40: 1148–1155.

Singh RP, William HM, Huerta-Espino J, Rosewarne G, 2004. Wheat rust in Asia: meeting the challenges with old and new technologies. In: New directions for a diverse planet. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Australia. P. 163.

Stubbs RW, Prescott JM, Saari EE, Dubin HJ, 1986. Cereal Disease Methodology Manual. CIMMYT: Mexico, D. F. 46pp.

Torabi M, Madoukhi V, Nazari K, Afshari F, Forootan AR, Ramai MA, Golzar H Kashani AS, 1995. Effectiveness of wheat yellow rust resistance genes in different parts of Iran. *Cereal Rusts and Powdery Mildews Bulletin* 23: 9–12.

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

www.SID.ir

Archive of SID

Wan A, Zhao Z, Chen XM, He Z, Jin S, *et al.* 2004. Wheat stripe rust epidemic and virulence of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in China in 2002. *Plant Disease* 88: 896–904.

Wang M, Wan A, Li M, Maccaferri M, Lopez PF, *et al.,* 2018. Virulence characterization of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* collections from China, Italy, Mexico, and Ecuador. *Proceeding of the International Congress of Plant Pathology* (ICPP), July 29 - August 3, Boston, USA.

Wang Z, Zhao J, Chen X, Peng Y, Ji J, *et al.*, 2015. Virulence variations of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* isolates collected from *Berberis* spp. in China. *Plant Disease* 100 (1):131–138.

Yahyaoui A, Rajaram S, 2012. Meeting the challenge of yellow rust in cereal crops. *Proceedings of the 2nd, 3rd and 4th Regional Conferences on Yellow Rust in the Central and West Asia and North Africa (*CWANA*) Region*, ICARDA, Aleppo, Syria. P. 175.

Zeng QD, Han DJ, Wang QL, Yuan FP, Wu JH, *et al.,* 2014. Stripe rust resistance and genes in Chinese wheat cultivars and breeding lines. *Euphytica* 196: 271–284.

Zhao J, Wang L, Wang Z, Chen X, Zhang H, *et al.,* 2013. Identification of eighteen *Berberis* species as alternate hosts of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* and virulence variation in the pathogen isolates from natural infection of barberry plants in China. *Phytopathology* 103: 927–934.

© 2020 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

www.SID.ir