DOI: 10.22092/spj.2025.367260.1381

"نهال و بذر"
جلد ۴۰، شماره ۲، سال ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

مقاومت برخی از ارقام تجاری و لاین‌های امیدبخش گندم ایران به بیماری زنگ قهوه‌ای (*Puccinia triticina* Eriks.) در مراحل گیاهچه و گیاه کامل

Resistance of Some Wheat Commercial Cultivars and Promising Lines to Leaf Rust (*Puccinia triticina* Eriks.) Diseases at Seedling and Adult-Plant Stages

سید طه دادرضائی[1*]، علی عمرانی[2]، علی ملیحی‌پور[1]، سید نصرت‌اله طباطبائی‌فرد[3] و سید محمود طبیب غفاری[4]

۱- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران.
۳- پژوهشگر، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

چکیده

دادرضائی، س. ط.، عمرانی، ع.، ملیحی‌پور، ع.، طباطبائی‌فرد، س. ن. و طبیب غفاری، س. م. ۱۴۰۳. مقاومت برخی از ارقام تجاری و لاین‌های امیدبخش گندم ایران به بیماری زنگ قهوه‌ای (*Puccinia triticina* Eriks.) در مراحل گیاهچه و گیاه کامل. **نهال و بذر ۴۰:** ۱۷۰- ۱۵۱

بیماری زنگ قهوه‌ای گندم، که توسط قارچ *Puccinia triticina* ایجاد می‌شود، یکی از بیماری‌های مهم گندم در ایران است. کشت ارقام مقاوم به بیماری مؤثرترین، اقتصادی‌ترین و از نظر زیست محیطی سالم‌ترین روش کنترل بیماری به‌شمار می‌رود. در تحقیق حاضر، مجموعه‌ای جدید از ۵۲ ژنوتیپ گندم نان و دوروم متشکل از ارقام تجاری و لاین‌های امیدبخش در دست نامگذاری برنامه‌های به‌نژادی گندم آبی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به همراه شاهد حساس به بیماری (رقم بولانی) در مراحل گیاهچه و گیاه کامل نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی در مرحله گیاهچه با استفاده از شش پاتوتیپ از قارچ عامل بیماری در شرایط گلخانه درکرج و بررسی در مرحله گیاه کامل طی دو سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ و ۰۳-۱۴۰۲ در دو ایستگاه تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد (دزفول) و شاوور (اهواز) در شرایط آلودگی مصنوعی مزرعه و در دو ایستگاه تحقیقاتی کلاردشت و پارس‌آباد مغان در شرایط آلودگی طبیعی انجام شد. بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده در مرحله گیاهچه، ۳۵ درصد ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در این مرحله نسبت به تمام جدایه‌های قارچ عامل بیماری مقاوم بودند. نتایج بررسی‌های مزرعه‌ای نیز نشان داد که تمامی ژنوتیپ‌های اقلیم گرم و مرطوب شمال، اقلیم گرم و خشک جنوب و برنامه دوروم، ۷۵ درصد از ژنوتیپ‌های اقلیم معتدل، ۶۰ درصد از ژنوتیپ‌های برنامه شوری و ۴۲درصد از ژنوتیپ‌های اقلیم سرد از مقاومت قابل قبول (شدت آلودگی 50MS، 50MR، 40S و کمتر) در برابر بیماری برخوردارند. در این پژوهش پنج ژنوتیپ گندم آراز، N-98-20، C-98-7، C-98-8 و CD-99-15 با وجود حساسیت در مرحله گیاهچه نسبت به تمام جدایه‌های زنگ قهوه‌ای، در مرحله گیاه کامل در برابر بیماری مقاوم بودند. احتمال دارد که این ارقام دارای ژن یا ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل باشند.

واژه‌های کلیدی: گندم نان، گندم دوروم، مقاومت مرحله گیاهچه، مقاومت مرحله گیاه کامل، حساسیت.

* نگارنده مسئول: Tahareza2000@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۱۱۰۶

2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

از نظر تاریخی، قارچ‌های عامل زنگ‌ها همواره از عوامل مهم بیماری در گیاهان تیره گندمیان بوده‌اند. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که میانگین خسارت ناشی از زنگ قهوه‌ای، زنگ زرد و زنگ سیاه در گندم به حدود ۱۵ میلیون تن در سال می‌رسد که معادل ۲/۹ میلیارد دلار آمریکا است (Huerta-Espino *et al.*, 2020). در این میان، بیماری زنگ قهوه‌ای گندم ناشی از قارچ *Puccinia triticina* Eriks. یکی از مهمترین بیماری‌های برگی گندم در سراسر جهان است (Knott, 1989; Huerta-Espino *et al.*, 2011) که می‌تواند در شرایط مساعد تا ۴۰ درصد کاهش عملکرد را ایجاد کند. بر اساس نتایج بررسی‌های انجام شده در ایران، دامنه خسارت این بیماری در میان ۲۰ ژنوتیپ گندم بین ۶ الی ۴۶ درصد و میانگین کاهش عملکرد ناشی از این بیماری ۲۵درصد بود (Dadrezaei *et al.*, 2018).

استفاده از ارقام مقاوم بهترین، کارآمدترین، اقتصادی‌ترین و از نظر زیست محیطی سالم‌ترین روش برای کنترل و مدیریت این بیماری‌ها به‌شمار می‌رود. بنابراین در بسیاری از مناطق جهان، اصلاح برای مقاومت به زنگ‌ها به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی برنامه‌های به نژادی گندم مطرح است. بیش از ۱۵۰ ژن مقاومت به زنگ‌ها در گندم شناسایی شده است که بسیاری از آن‌ها از خویشاوندان گندم منشا گرفته‌اند (Bolton *et al.*, 2008; Lagudah, 2011). مقاومت به زنگ‌ها از جمله به زنگ قهوه‌ای در گندم به دو دسته مقاومت گیاهچه‌ای (Seedling resistance) و مقاومت گیاه کامل (Adult-plant resistance) گروه بندی می‌شود (Chen, 2005).

از ویژگی‌های مقاومت گیاهچه‌ای این است که اغلب اختصاصی نژاد (Race-specific) بوده، در تمام مراحل رشد گیاه بیان می‌شود (معمولاً در تمام مراحل رشد گیاه مؤثر است) و سطح بالایی از مقاومت را در برابر بیماری ایجاد می‌کند، اما ممکن است به علت تغییر در پرآزاری قارچ عامل بیماری به‌راحتی شکسته شود (Kolmer, 2005; Jin *et al.*, 2010). استفاده بیش از اندازه از یک ژن برای مقاومت عمودی مانند *Lr10*، *Lr13* یا *Lr37* باعث تحریک گزینش برای پاتوتیپ‌هایی از زنگ قهوه‌ای می‌شود که می‌توانند بر چنین ژن‌هایی فایق آیند. ژن مقاومت *Lr37* که در ابتدا در خویشاوندان وحشی گندم (*Aegilops ventricosa*) شناسایی شد (Goyeau and Lannou, 2011) و به لاین گندم فرانسوی VPM1 منتقل گردید و به‌طور وسیعی در برنامه های به نژادی گندم برای مقاومت به بیماری زنگ قهوه ای مورد استفاده قرار گرفته است. پرآزاری روی این ژن برای اولین بار در سال ۲۰۰۲ از جنوب استرالیا گزارش گردید (Pathan and Park, 2006). ارقام گندم تامی (Tommi) و پانچ (Punch) نیزکه حامل

این ژن بودند و در سطح بسیار وسیعی کشت می‌شدند، تا سال ۲۰۰۶ توانستند مقاومت خود را حفظ کنند. تاکنون دو ژن مقاومت *Lr10* و *Lr13* نیز در اروپا بی‌اثر شده‌اند (Goyeau *et al.*, 2006).

مقاومت گیاه کامل که در مراحل بعد از مرحله گیاهچه ایجاد می‌شود، اغلب به‌صورت غیراختصاصی نژاد (Non-race-specific) عمل کرده و از پایداری بیشتری برخوردار است (Line, 2002). گیاهانی که فقط این نوع مقاومت را دارند در مرحله گیاهچه حساس هستند اما در مراحل بعد از رشد گیاهچه مقاومت نشان می‌دهند. مقاومت غیر اختصاصی نژاد معمولاً فقط در مرحله گیاه کامل مؤثر است. این نوع مقاومت باعث ایجاد مقاومت نسبی در برابر کلیه نژادهای عامل بیماری شده و به‌طور معمول توسعه تدریجی زنگ (Slow rusting) در گیاه را به‌دنبال دارد (Huerta_Espio *et al.*, 2020; Lagudah, 2011). اثر ژن‌های مقاومت گیاه کامل به تنهایی ممکن است متوسط باشد، اما در ترکیب با ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای یا با سایر ژن‌های مقاومت گیاه کامل می‌توانند باعث ایجاد اثر افزایشی شوند و در نتیجه سطوح بالایی از مقاومت پایدار را ایجاد کنند. هرمی کردن ژن‌های مقاومت گیاه کامل در یک رقم حتی می‌تواند منجر به ایجاد مصونیت تقریبی (Near-immunity) در آن شود (Singh *et al.*, 2000).

در بررسی‌های انجام شده روی واکنش ۱۲۳ لاین به نژادی گندم به بیماری زنگ قهوه ای در مراحل گیاهچه و گیاه کامل، ۲۳ لاین در مرحله گیاهچه حساس و در مرحله گیاه کامل مقاومت قابل قبولی داشتندکه نشان دهنده وجود ژن‌های مقاومت گیاه کامل به این بیماری در این لاین‌ها بود (Zarandi *et al.*, 2009). در پژوهش دیگری که اخیراً روی واکنش ۱۰۱ ژنوتیپ آزمایشی در شرایط مزرعه نسبت به بیماری زنگ قهوه ای انجام شد، ۱۰۰ درصد ژنوتیپ‌های گندم دوروم، ۹۶ درصد ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم گرم و مرطوب شمال، ۶۳ درصد از ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم گرم و خشک جنوب، ۵۷ درصد از ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم معتدل، ۲۶ درصد از ژنوتیپ‌های گندم نان اقلیم سرد و ۱۰ درصد از ژنوتیپ‌های گندم نان برنامه شوری از مقاومت قابل قبولی در برابر بیماری برخوردار بودند (Dadrezaei *et al.*, 2023). همچنین، براساس نتایج یک پژوهش دو ساله برای ارزیابی واکنش ۴۰ رقم تجاری و ۴۰ لاین در دست نامگذاری گندم نسبت به بیماری زنگ قهوه ای در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه در منطقه مغان مشخص شد که ارقام تجاری تیرگان، معراج، آرمان، تکتاز، فلاح، شوش، مهرگان، سحر، سیروان، رخشان، طلائی، فرین، دانش، ثنا، آران، تابان، هانا، آوان و ۲۱ لاین در دست نامگذاری، در برابر این بیماری در آن منطقه، از مقاومت قابل قبولی برخوردار

بودند (Omrani and Dadrezaei, 2024).

تهیه ارقام مقاوم یک فرآیند پیوسته است زیرا مقاومت ارقام ممکن است با جهش در ژنوم عامل بیماری یا انتقال نژاد جدید از سایر مناطق کم اثر یا بی اثر شود. به همین دلیل، نیاز دائمی به بررسی پرآزاری/ناپرآزاری عامل بیماری و شناسایی و استقرار منابع جدید مقاومت وجود دارد. پژوهش حاضر به منظور ارزیابی واکنش مجموعه‌ای جدید از ژنوتیپ‌های گندم شامل از ۵۲ رقم تجاری و لاین گندم در دست نامگذاری اقلیم‌ها و برنامه‌های مختلف به نژادی گندم آبی کشور به همراه شاهد حساس به بیماری (رقم بولانی) در شرایط گلخانه (مرحله گیاهچه) و مزرعه (مرحله گیاه کامل) در دو سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ و ۰۳-۱۴۰۲ نسبت به عامل بیماری زنگ قهوه‌ای گندم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این پژوهش،۵۲ رقم تجاری و لاین امیدبخش گندم از برنامه‌های به نژادی گندم آبی برای اقلیم‌های مختلف کشور شامل ۱۲ رقم تجاری و لاین امیدبخش گندم نان اقلیم گرم و مرطوب شمال، نه رقم تجاری و لاین امیدبخش گندم نان اقلیم گرم و خشک جنوب، هشت رقم تجاری و لاین امیدبخش گندم نان اقلیم معتدل، ۱۲ رقم تجاری و لاین امیدبخش گندم نان اقلیم سرد رقم تجاری و پنج لاین امیدبخش گندم نان برنامه به نژادی شوری و شش رقم تجاری و لاین امیدبخش برنامه به‌نژادی گندم دوروم به همراه شاهد حساس (رقم بولانی) برای مقاومت/حساسیت به بیماری زنگ قهوه ای ازیابی شدند.

تولید مایه تلقیح

به‌منظور تولید مایه تلقیح قارچ عامل بیماری زنگ قهوه ای برای استفاده در مایه‌زنی آزمایشات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای، بذرگندم رقم حساس بولانی به‌صورت توده‌ای در گلدان‌های محتوی خاک معمولی کشت شد و پس از گذشت مدت ۱۰ روز که برگ اول گیاهچه‌ها به‌طور کامل ظاهر شد، گیاهچه‌ها از طریق مالش با گیاهچه‌های آلوده مایه‌زنی شدند. سپس روی گیاهچه‌ها به کمک اسپری دستی آب‌پاشی شد و بعد از گذاشتن درپوش‌های پلاستیکی روی آنها، به‌مدت ۲۴ ساعت در شرایط دمایی ۲۰-۱۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی اشباع و تاریکی قرار داده شدند. بعد از آن، گیاهچه‌ها به گلخانه ویژه زنگ قهوه‌ای با شرایط دمایی ۲۴-۲۲ درجه سلسیوس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی (۱۵-۱۰ هزار لوکس) و هشت ساعت تاریکی منتقل شدند. دوازده تا ۱۵ روز پس از مایه‌زنی، هر سه روز یک بار اقدام به‌جمع‌آوری و نگهداری اسپور از روی گلدان‌ها شد.

ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای

ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای با استفاده از نژادهای پرآزار مناطق مورد بررسی در مرحله

گیاه کامل، شامل دو جدایه از گرگان، دو جدایه از مغان، یک جدایه از دزفول و یک جدایه از اهواز در گلخانه بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج انجام شد. مایه‌زنی ژنوتیپ‌های مورد بررسی و یادداشت‌برداری از واکنش آن‌ها نسبت به هر کدام از جدایه‌های مورد مطالعه، از مهر ۱۴۰۲ تا اردیبهشت سال ۱۴۰۳ انجام شد.

به منظور بررسی واکنش ارقام و لاین‌های مورد بررسی در مرحله گیاهچه، تعداد ۱۰ بذر از آنها در گلدان‌های به قطر ۱۲ سانتی‌متر حاوی خاک، ماسه و پیت‌ماس به نسبت مساوی کشت شدند. بعد از گذشت ۱۰ روز، گیاهچه‌های دو برگی با اسپور قارچ عامل بیماری زنگ قهوه‌ای مایه‌زنی شدند. گلدان‌های حاوی گیاهان مایه‌زنی شده به مدت ۲۴ ساعت در شرایط دمایی ۲۰-۱۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی اشباع و تاریکی نگهداری شده و سپس به گلخانه ویژه زنگ قهوه‌ای منتقل شدند. گلدان‌ها تا زمان ارزیابی بیماری، به‌صورت جداگانه زیر سرپوش شفاف کریستالی در این شرایط نگهداری شدند. دوازده تا ۱۴ روز بعد از مایه‌زنی، ارزیابی بیماری روی گیاهچه‌ها در مقیاس ۴-۰ براساس روش مک‌اینتاش و همکاران (McIntosh *et al.*, 1995) انجام شد. در پژوهش حاضر، در ارتباط با داده‌های گیاهچه‌ای، تیپ‌های آلودگی 0 تا +2 و نیز تیپ آلودگی X به‌عنوان مقاوم، تیپ‌های آلودگی 3 و 4 به‌عنوان حساس در نظر گرفته شدند.

ارزیابی مقاومت گیاه کامل

برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در مرحله گیاه کامل، ارقام و لاین‌های آزمایشی در اوایل آذر سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در شرایط مزرعه در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد (دزفول)، شاوور (اهواز)، کلاردشت و پارس‌آباد مغان کشت شدند. از هر ژنوتیپ گندم آزمایشی ۱۰ گرم بذر بر روی دو خط یک متری و روی یک پشته و با فاصله یک متر از ژنوتیپ دیگر کشت شد و به فاصله هر ده ژنوتیپ، رقم حساس بولانی به‌عنوان شاهد حساس کاشته شد. علاوه بر آن، در اطراف خزانه آزمایشی نیز رقم بولانی در چند ردیف به‌عنوان تکثیرکننده و پخش‌کننده بیماری کشت شد. این آزمایش در شرایط آبیاری تکمیلی کشت و ارزیابی شد.

ظهور و گسترش زنگ قهوه‌ای بر روی ژنوتیپ های گندم در خزانه آزمایشی در کلاردشت و پارس‌آباد بدون مایه‌زنی مصنوعی و به‌طور طبیعی رخ داد اما ژنوتیپ های گندم در صفی‌آباد و شاوور در هر دو سال اجرای آزمایش مایه‌زنی شدند. مایه‌زنی این دو خزانه با استفاده از جدایه زنگ قهوه‌ای هر منطقه به‌صورت مخلوطی از اسپور زنگ و پودر تالک (به نسبت ۱ قسمت اسپور و ۲۰ قسمت پودر تالک) به کمک گردپاش پشتی اتومایزر (شاوور) یا گردپاش دستی (صفی‌آباد) در سه مرحله، یک بار بعد از ساقه رفتن، بار دوم ۱۰ الی ۱۴ روز پس از بار اول و بار سوم قبل از زمان ظهور برگ پرچم در شرایط مساعد

محیطی در غروب انجام شـد. این عملیات در هر دو ایستگاه تحقیقاتی در فاصله بین اوایل دی تا اواسط اسفند انجام شد. بلافاصله پس از انجام مایه‌زنی، با هدف بهبود شـرایط محیط و ایجاد محیط مناسـب اعم از دما و رطوبت برای نفوذ اسـپورهای قارچ عامل بیماری در بافت گیاه و تسـهیل اسـتقرار بیماری روی گیاه، یک روکش پلاسـتیکی شـفاف به شـکل تونل روی ژنوتیپ های گندم کشیده شد.

یادداشت‌برداری از واکنش ژنوتیپ های گندم بـه بیمـاری زنـگ قهوه ای در مرحلـه ظهور برگ پرچم و پس از مشـاهده توسـعه آلودگی و یکنواختی در ظهور بیماری بر روی رقم حسـاس بولانی که به عنوان شاهد پس از هر ده رقم کشت آن تکرار شـده بود، انجام شـد. به این صـورت که برای هر ژنوتیپ گندم، درصـد پوشـش آلودگی بیماری روی سـطح برگ آنها در مقیاس ۱۰۰-۰ براسـاس روش تغییر یافته کاب (The Modified Cobb Scale) (Peterson *et al.*, 1948) تعیین شد. همزمان با تعیین درصد پوشش آلودگی روی سطح برگ، تیپ آلودگی نیز براساس روش رالفز و همکاران (Roelfs *et al.*, 1992) به شـرح زیر تعیین گردید:

O (مصون): بدون هیچگونه علائم

R (مقاوم): ظهور لکه‌های نواری نکروتیک، بدون ظهور اسپور یا جوش‌های ریز و پراکنده

MR (نیمه مقاوم): ظهور جوش‌های کوچک زنگ که بوسـیله لکه‌های نکروتیک وگاهی کلروتیک احاطه شده بودند

MS (نیمه‌حساس): ظهور جوش‌هایی به‌اندازه متوسـط، بدون لکه‌های نکروتیک، گاهی همراه با لکه‌های کلروتیک

S (حسـاس): وجود جوش‌های بزرگ زنگ به تعداد فراوان و بدون لکه‌های کلروتیک و گاهی همراه با این لکه‌ها

در این ارزیابی، آلودگی 50S و بالاتر به‌عنوان حسـاسـیت و آلودگی‌های با تیپ‌های نیمه مقاوم (MR) و نیمه حساس (MS) با شدت ۵۰ و کمتر، آلودگی با تیپ حساس (S) و شدت ۴۰ و کمتر به عنوان مقاومت (R) در نظر گرفته شد (Singh *et al.*, 1999).

داده‌های مربوط به شـدت بیماری و واکنش میزبان (تیپ آلودگی R: مقاوم، MR: نیمه مقاوم، MS: نیمه حساس و S: حساس) باهم ترکیب شده و از ترکیب آن‌ها ضریب آلودگی (Coefficient of infection = CI) محاسـبه شـد. ضـریب آلودگی (CI) از حاصل‌ضرب شدت بیماری در ثابت مربوط به واکنش میزبان (S = 1, MS = 0.8, M = 0.6, MR = 0.4, R = 0.2, O = 0) به‌دست آمد و به عنوان شاخص ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌ها مورد اسـتفاده قرار گرفت. در ارتباط با داده‌های مزرعه‌ای، ابتدا ضرایب آلودگی بدست آمده برای ژنوتیپ‌های گندم مورد ارزیابی با استفاده از نرم‌افزار PAST به روش Ward تجزیه خوشه‌ای شدند.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی انجام شده در مرحله گیاهچه در

شرایط گلخانه نشان داد که ۱۸ ژنوتیپ از ارقام و لاین های امید بخش گندم مورد بررسی نسبت به همه جدایه‌های قارچ عامل بیماری زنگ قهوه ای مقاوم بودند (جدول ۱). در ارتباط با ارزیابی های انجام شده در مرحله گیاه کامل در دو سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ و ۰۳-۱۴۰۲ در صفی‌آباد (دزفول)، شاوور (اهواز)، کلاردشت و پارس‌آباد، ۴۱ رقم و ژنوتیپ در هر دو سال و هر چهار مکان اجرای آزمایش، از مقاومت قابل قبولی (شدت آلودگی 50MS، 50MR، 40S و کمتر) در برابر بیماری زنگ قهوه ای برخوردار بودند (جدول ۱). از جمله این ژنوتیپ‌ها می‌توان به ارقام تجاری تکتاز، آراز، آرمان، فلاح، راج، آزادگان، داریون، جلال، اوج، دانش، بامداد، سپهر و آوان اشاره کرد که همه آنها طی سال‌های اخیر معرفی شده‌اند. همچنین، سه رقم تیرگان، مهرگان و تابان که در بررسی‌های قبلی نیز مقاوم ارزیابی شده بودند (Dadrezaei *et al.*, 2023).

بهر هر حال، براساس نتایج پژوهش حاضر، رقم جدید سیمین به همراه نه لاین امید بخش گندم در دست نامگذاری در برابر بیماری حساس بودند. همانگونه که در جدول مشاهده می شود، تفاوت‌های زیادی ، در بعضی موارد، بین واکنش ژنوتیپ‌های گندم مورد ارزیابی در سال‌ها یا ایستگاه‌های مختلف اجرای آزمایش وجود داشت. این امر می‌تواند به دلیل وجود تفاوت در فراوانی و پرآزاری جمعیت عوامل بیماری‌زای غالب و نیز شرایط محیطی تاثیرگذار در سال‌ها یا مکان های اجرای آزمایش باشد (جدول ۲).

در مجموع، نتایج حاصل از ارزیابی ها حاکی از آن بود که کلیه ژنوتیپ‌های گندم اقلیم گرم و مرطوب شمال، اقلیم گرم و خشک جنوب، برنامه گندم دوروم، ۷۵درصد از ژنوتیپ‌های اقلیم معتدل، ۶۰درصد از ژنوتیپ‌های برنامه شوری و ۴۲درصد از ژنوتیپ‌های گندم اقلیم سرد از مقاومت قابل قبول برخوردار بودند. نتایج ارزیابی‌های این پژوهش نشان داد که کمترین درصد منابع مقاومت مربوط به ارقام و لاین های امیدبخش گندم نان اقلیم های سرد و شوری بود.

نقشه دمایی به‌همراه تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی واکنش ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم مورد مطالعه به بیمارگر زنگ قهوه‌ای مناطق دزفول، اهواز، کلاردشت و مغان، را در سه خوشه مقاوم تا مصون، نیمه مقاوم –نیمه حساس و حساس گروه‌بندی کرد (شکل ۱). گروه اول شامل نه ژنوتیپ (حدود ۱۷ درصد) از ژنوتیپ‌های مورد بررسی را شامل شد. ژنوتیپ‌های عضو این خوشه از جمله رقم سیمین و بولانی (رقم حساس شاهد) دارای واکنش حساسیت شدید، ۱۶ ژنوتیپ (حدود ۳۰ درصد) از جمله رقم تکتاز در خوشه دوم دارای واکنش نیمه مقاوم تا نیمه حساس، ژنوتیپ‌های این گروه در برخی از مکان ها دارای واکنش مقاومت و در برخی دیگر دارای واکنش نیمه حساس بودند. ۲۸ ژنوتیپ (حدود ۵۳ درصد) در تمامی مناطق واکنش مقاومت نشان دادند. ژنوتیپ‌های این خوشه حداقل تیپ و ضریب آلودگی را داشتند، در نتیجه این خوشه، خوشه مقاوم نامیده شد (شکل ۱).

جدول ۱- واکنش ارقام گندم تجاری و لاین‌های امیدبخش گندم نان/دوروم به بیمارگر زنگ قهوه‌ای در مراحل گیاهچه و گیاه کامل

Table 1. Reactions of bread/durum wheat commercial and promising lines to leaf rust pathogen at seedling and adult plant stages

شماره No.	Line/cultivar	لاین/رقم	واکنش گیاه کامل در سال‌ها و مکان‌های مختلف Adult-plant reactions in different years and locations								واکنش گیاهچه‌ای نسبت به جدایه‌های مختلف Seedling reactions to different isolates					
			2023				2024									
			Dezfoul	Shavour	Parsabad	Kelardasht	Dezfoul	Shavour	Parsabad	Kelardasht	Dezful	Ahvaz	Gorgan1	Gorgan2	Moghan1	Moghan2
1	Taktaz	تکتاز	5MS	40MS	40MS	20MS	TMS	30MS	30MS	20MS	3	;	;	;	; , 2	3
2	Araz	آراز	5MR	40MS	15MS	0	30MS	30MS	20MR	30S	3	3	3+	3	3	3
3	Arman	آرمان	5MS	40MS	5MR	0	10MS	20MS	20MR	10R	2	;	;	; , 1	;	; , 2
4	Tirgan	تیرگان	0	40MS	20MR	R	R	10MR	20MR	10MR	2	;	;	;	;	3
5	Fallah	فلاح	10MS	40MS	5MR	R	R	20MS	30MS	30MS	2, 3;	;	; , 3	;	; , 2	3
6	N-97-20		0	30MS	40MSS	R	R	TMS	5MR	10MR	2+;	;	;	;	;	3
7	N-98-8		0	20MS	30MR	R	0	5MS	5MR	10MS	2, 3, ;	; , 1	1 , 2;	; , 1	; , 2	3
8	N-98-16		0	20MS	30MS-S	5MS	TMS	5MS	10MR	10MS	3	;	;1 , 2 , 3	; , 1	; , 2	3
9	N-98-20		10MS	30MR	30MS	R	0	30MS	20MR	40MS	3	3	3	3	3	3
10	N-99-4		0	20MS	5MR	R	R	20MS	10MR	20MS	; , 2, 3	;	;	;	;	3
11	N-99-6		0	20MS	5MR	R	R	10MS	10MR	20MR	3	; , 1	2, ; , 3	; , 1	; , 2	3
12	N-99-19		0	40MS	50MS	10MS	R	20MS	50MSS	20S	2, 3, ;?	; , 1	; , 2, 3	; , 1 , 2	3	3
13	Raj	راج	10MS	30MS	10MS	R	R	20MS	5MR	10MS	3	2	3, 2, 1	; , 1 , 2	; , 2	3
14	Azadegan	آزادگان	0	20MR	0	30MS	R	10MR	20MR	10MS	2	;	;	;	; , 2	3
15	Darioun	داریون	R	10MR	0	0	R	10MR	10MS	0	2	;	;	;	;	; , 2
16	Jalal	جلال	0	30MS	0	40MS	R	10MR	5MR	0	2	;	;	;	;	; , 2
17	Mehregan	مهرگان	20MS	10MR	20MR	R	R	10MR	10MS	0	;	;	0	;	;	;
18	Owj	اوج	0	10MR	0	10MR	R	10MR	10MS	10MS	2	; , 1	;	;	;	2, ;3
19	S-97-10		5MS	30MS	10MR	R	TMR	20MS	5MR	40MS	2	; , 1	2 , 3 , 1	;	; , 1	3, ; , 2
20	S-98-22		0	40MS	15MR	R	R	20MS	0	0	2	;	;	;	;	3, 2
21	S-99-18		0	50MS	0-5MR	R	0	20MS	5MR	20MS	2, 3, ;	;	; , 2, 1	;	; , 3, 2	3
22	Danesh	دانش	0	30MR	20MR	0	20MS	R	20MR	10MS	3	3	3	3	; , 1	3
23	Bamdad	بامداد	0	40MS	20MR	R	TMS	30MS	5MR	20MR	2	;	; , 1	;	; , 1	2
24	Sepehr	سپهر	0	40MS	5MR	R	R	20MR	10MR	0	; , 2	;	;	;	; , 1	3, 2
25	M-DH98-10		0	40MS	15MS	R	R	30MS	15MS	40MS	2	; , 1	;	; , 1	1, 2	3, 2
26	M-DH98-18		5MS	50S	40MS	10MS	40MS	30MS	10MR	50MS	3	;	;	;	0	3
27	M-99-9		20MS	60S	70S	10MS	TMR	30MS	30MSS	20MS	2, ;	; , 1	; , 1	; , 1	2	3

ادامه جدول ۱-

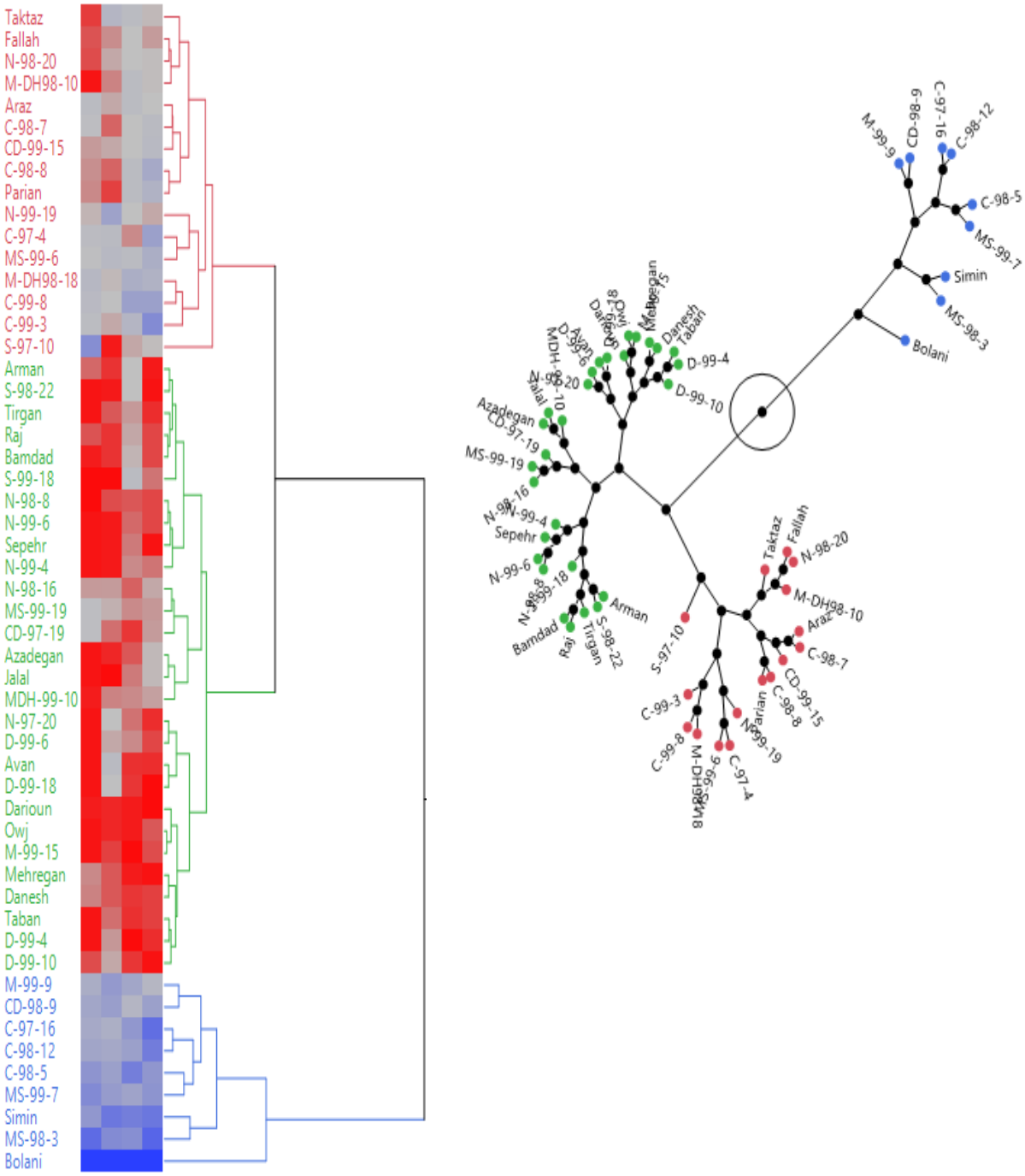
Table 1. Continued

شماره No.	Line/cultivar	لاین رقم	واکنش گیاه کامل طی سال‌ها و مکان‌های مختلف Adult-plant reactions in different years and locations								واکنش گیاهچه‌ای نسبت به جدایه‌های مختلف Seedling reactions to different isolates					
			۱۴۰۲۲۰۲۳				۱۴۰۳۲۰۲۴									
			Dezfoul	Shavour	Parsabad	Kelardasht	Dezfoul	Shavour	Parsabad	Kelardasht	Dezful	Ahvaz	Gorgan1	Gorgan2	Moghan1	Moghan2
28	M-99-15		0	10MR	20MR	5MR	R	R	10MR	20MR	; , 1	;	;	;	;	; , 1
29	MDH-99-10		0	30MS	20MS	5MR	TMS	10MS	10MS	30MS	; , 1	2 , 1;	; , 1	; , 1	2	; , 2, 1
30	Simin	سیمین	20MS	90S	70S	20MS	50S	50MS	70S	80S	3	;	; , 1	;	; , 1	3
31	C-97-4		TMS	40MS	40MS	30MS	10MS	30MR	20MS	40S	3	0	;	0	;	3+
32	C-97-16		10MS	70S	50S	40MS	10MS	40MS	20MS	70S	3	2	2, 1	3	3	3
33	CD-97-19		10MS	30MR	40MR	R	30MS	R	10MR	30MS	3	2	3	3	3	3
34	C-98-5		30MS	90S	60S	5MR	50MSS	50MS	10MS	50S	3	3	3	3+	3+	3
35	C-98-7		10MS	40MS	30MR	30MS	30MS	20MS	15MR	20MS	3	3	3+	3	3	3
36	C-98-8		5MS	50MS	10MR	20MS	20MR	20MS	15MS	40S	3	3	3	3	3	3
37	C-98-12		5MS	60S	60S	40MS	30MS	40MS	20MS	60S	3	;	;	;	; , 1	3
38	CD-98-9		5MS	50MS	50S	10MR	30MS	30MS	40S	60S	2, 3, ;	;	;	;	;	3
39	C-99-3		10MS	40MS	20MR	R	10MS	40MS	30MS	80S	3	;	;	;	;	4
40	C-99-8		0	60S	30MS	30MS	30MS	40MS	20MS	40S	3	0	;	;	0	3
41	CD-99-15		0	40MS	20MR	R	5MS	20MS	30MS	40S	3	3	3	3	3	3
42	Parian	پریان	20MS	40MS	10MS	20MS	R	30MS	10MR	40MS	3	3	3	3	; , 3, 1	3
43	MS-98-3		70MS	80S	80S	50MS	80S	40MS	40MSS	60S	3	3	3	3+	3	3+
44	MS-99-6		10MS	50MS	40MS-S	50MS	TMS	20MS	20MS	40MS	3	3	3	2	3	3
45	MS-99-7		70S	40MS	90S	30MS	40MS	20MS	10MR	50S	3	2	3	3	3	3+
46	MS-99-19		10MS	20MS	40MS	10MS	30MS	20MS	5MR	20MS	2	;	3	3	2	3+
47	Avan	آوان	0	20MR	20MS	R	TMR	10MR	40MS	10MR	;	0	;	; , 1	;	3 , 2
48	Taban	تابان	0	20MR	20MS	20MR	R	10MR	10MR	0	; , 1	;	;	;	;	; , 1
49	D-99-4		0	10MR	30MS	R	R	R	10MR	10MR	; , 1 , 2	;	;	0	; , 1	; , 1
50	D-99-6		0	30MS	30MS	R	R	10MS	10MS	20MR	; , 1 , 2	;	;	; , 1	; , 1	; , 2
51	D-99-10		0	30MR	20MS	R	10MS	R	20MS	0	2	;	0	;	;	3, 2
52	D-99-18		0	30MR	20MS	0	R	R	30MS	0	2, 3;	;	;	; , 1	2	; , 1
53	Bolani	بولانی	90S	100S	100S	40MS	90S	90S	100S	100S	3	3	3	3	3	3

جدول ۲- الگوی پرآزاری/ناپرآزاری جدایه‌های زنگ قهوه‌ای

Table 2. Virulence/avirulence profile of leaf rust isolates

نام جدایه Isolate name	محل جمع‌آوری Location of collection	سال جمع‌آوری Year of collection	ژنهای پرآزار Virulence genes	ژنهای ناپرآزار Avirulence genes
Dezful	Dezful, Khuzestan province	1403	*Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr18, Lr20, Lr21, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr36*	*Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr17, Lr19, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31*
Ahvaz	Ahvaz, Khuzestan province	1402	*Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr18, Lr20, Lr21, Lr25, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr36*	*Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr17, Lr19, Lr23, Lr24, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31*
Gorgan1	Kalaleh, Golestan province	1395	*Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr18, Lr20, Lr21, Lr25, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr36*	*Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr17, Lr19, Lr23, Lr24, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31*
Gorgan2	Gorgan, Golestan province	1402	*Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr18, Lr20, Lr21, Lr25, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr36*	*Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr17, Lr19, Lr23, Lr24, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31*
Moghan1	Moghan, Ardabil province	1400	*Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr18, Lr20, Lr21, Lr25, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr36*	*Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr17, Lr19, Lr23, Lr24, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31*
Moghan2	Moghan, Ardabil province	1402	*Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr18, Lr20, Lr21, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr36*	*Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr17, Lr19, Lr23, Lr24, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31*



شـــکل ۱- دندروگرام نقشـــه دمایی به‌همراه تجزیه خوشـــه‌ای ســـلســـله مراتبی واکنش ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم به جمعیت بیمارگر زنگ قهوه ای (*Puccinia triticina*) در ایســـتگاه های تحقیقاتی مختلف با استفاده از روش Wards

Fig. 1. Dendrogram of the heatmap and hierarchical cluster analysis for the reaction of the wheat commercial cultivars and promising lines to leaf rust pathogen (*Puccinia triticina*) population in different research field stations using Wards method

در این شکل هرچه سطح مقاومت ژنوتیپ‌های گندم نسبت به جمعیت بیمارگر زنگ قهوه‌ای در ایستگاه های تحقیقاتی بیشتر بود به رنگ قرمز تیره متمایل و هرچه قدر واکنش مقاومت در ژنوتیپ‌ها کاسته می‌شد به رنگ آبی متمایل بود (شکل ۱). همچنین گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم از طریق روابط موجود بین آنها از لحاظ قرابت واکنش و ایجاد مقاومت نسبت به بیمارگر زنگ قهوه‌ای در ساختار درختچه‌ای قابل مشاهده است. در بررسی دیگر انجام شده روی واکنش ۱۲۲ لاین پیشرفته گندم به یک جدایه از قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه، لاین‌های مورد بررسی به سه گروه مقاوم، نیمه مقاوم و حساس تقسیم شدند (Ghasemzadeh *et al.*, 2010). همچنین، در بررسی انجام شده دیگری روی واکنش ۴۱ ژنوتیپ گندم به بیماری در شرایط گلخانه و مزرعه، ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه به سه گروه مقاوم، نیمه مقاوم و حساس و در شرایط مزرعه در مرحله گیاه کامل به دو گروه حساس و مقاوم گروه‌بندی شدند (Mohajervatan *et al.*, 2016).

با در نظر گرفتن واکنش ارقام و لاین های امیدبخش گندم در مراحل گیاهچه و گیاه کامل، ضمن قرار دادن آنها در چهار گروه مختلف (شکل ۱)، می‌توان با جزئیات بیشتری به تفاوت‌های آنها پرداخت:

- گروه اول (حساس در هر دو مرحله گیاهچه و گیاه کامل): این گروه که شامل ۱۱ ژنوتیپ بود، احتمالاً فاقد ژن‌های مقاومت مؤثر اعم از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای (اختصاصی نژاد) و گیاه کامل (غیراختصاصی نژاد) بودند.

- گروه دوم (حساس در مرحله گیاهچه و مقاوم در مرحله گیاه کامل): در این گروه رقم تجاری آراز به همراه چهار لاین در دست نامگذاری N-98-20، C-98-7، C-98-8 و CD-99-15 قرار داشتند. با توجه به حساسیت این ژنوتیپ‌ها در مرحله گیاهچه در برابر جدایه‌های زنگ قهوه‌ای و بروز مقاومت در آنها در ایستگاه های تحقیقاتی مختلف در مرحله گیاه کامل، احتمال وجود ژن یا ژن‌های مقاومت گیاه کامل در آنها محتمل به‌نظر می‌رسد. همچنین با توجه به حساسیت ارقام دانش و پریان به اکثر جدایه‌ها به جز یک جدایه، احتمالا این ارقام نیز دارای ژن یا ژن‌های مقاومت در مرحله گیاه کامل بوده و در این گروه قرار گرفتند. باتوجه به اهمیت بالای استفاده از ارقام دارای ژن‌های مقاومت گیاه کامل در جلوگیری از همه‌گیری بیماری زنگ قهوه‌ای و کاهش احتمال ظهور نژادهای جدید، استفاده از نشانگرهای مولکولی و بررسی‌های بیشتر برای شناسایی دقیق جایگاه‌های ژنی موجود در ژنوتیپ‌های مقاوم این گروه ضروری به‌نظر می‌رسد.

دادرضائی و نظری (Dadrezaei and Nazari, 2015) گزارش کردند که وجود ژن مقاومت غیراختصاصی Lr_{34} در گندم رقم افلاک با نشانگر مولکولی تایید شد. در آن مطالعه گندم رقم افلاک و لاین M-85-7 در

مرحله گیاهچه کاملا حساس و در مرحله گیاه کامل کاملا مقاوم بودند بنابراین، این پژوهشگران احتمال دادند که گندم رقم افلاک و لاین M-85-7 فاقد ژن مقاومت نژاد اختصاصی مؤثر به جدایه مورد استفاده بودند، اما با توجه به ایجاد مقاومت بسیار بالا در شرایط مزرعه ممکن است علاوه بر ژن *Lr34* دارای ژن یا ژن‌های مرحله گیاه کامل دیگری باشند که دارای اهمیت بوده و باید برای تایید با مارکرهای مولکولی بررسی شوند.

- گروه سوم (مقاوم به برخی جدایه‌ها و حساس به برخی از آنها در مرحله گیاهچه و مقاوم در مرحله گیاه کامل): این گروه که شامل ۱۶ رقم ولاین امیدبخش گندم از جمله ارقام تجاری تکتاز، تیرگان، فلاح، راج و آزادگان بود، که ممکن است دارای ژن‌های موثر در کنترل مقاومت در مراحل گیاهچه و گیاه کامل باشندکه ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای نسبت به برخی جدایه‌ها مؤثر و به برخی نژادها غیر مؤثر بودند.

- گروه چهارم (مقاوم در هر دو مرحله گیاهچه و گیاه کامل): این گروه که شامل ۱۸ رقم و لاین امید بخش گندم از جمله ارقام تجاری آرمان، داریون، جلال، مهرگان، اوج، بامداد، سپهر و تمام ژنوتیپ‌های گندم دوروم بود، که به علت داشتن مقاومت در مرحله گیاهچه ممکن است دارای ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و مؤثر در برابر جدایه های مورد بررسی بودند. با توجه به اینکه چنین ژن‌هایی به‌طور معمول در طول چرخه زندگی گیاه به‌طور مؤثر در برابر قارچ عامل بیماری عمل می‌کنند، ممکن است مقاوم بودن گیاهان در مرحله گیاه کامل نیز از آنها ناشی شده باشد. در هر حال، این ارقام و لاین های امید بخش گندم علاوه بر ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای، ممکن است دارای ژن‌های مقاومت گیاه کامل نیز باشند که در ایجاد مقاومت در مرحله گیاه کامل ایفای نقش کردند.

تاکنون ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای یا مقاومت عمودی که اختصاصی نژاد هستند، به طور گسترده در برنامه‌های به‌نژادی گندم برای ایجاد مقاومت به زنگ‌ها مورد استفاده قرار گرفته اند. از سوی دیگر، ساختار نژادی جمعیت‌های قارچ‌های عامل زنگ‌ها بسیار پیچیده بوده و به علت احتمال زیاد جهش، بسیار تغییر پذیرند. این قارچ‌ها با تنوع ژنتیکی زیاد، میزان تکثیر بالا، امکان تکمیل چند چرخه در هر فصل زراعی و انتشار سریع توسط باد دارای توانایی بالایی برای پاسخ به فشار انتخابی هستند، که در نتیجه انتقال ژن‌های مقاومت عمودی بزرگ اثر به ارقام گندم ایجاد می‌شود.

بنابراین، ژن‌های مقاومت عمودی ممکن است توسط نژادهای جدید پرآزار عوامل بیماری تحت تأثیر قرار گرفته و اثر خود را از دست بدهند. برای جلوگیری یا کاهش سرعت شکسته شدن مقاومت ارقام حامل تک‌ژن مقاومت گیاهچه‌ای و حفاظت از منابع ژنی مقاومت به بیماری لازم است برنامه‌های

مشخصی مانند اجرای کشت موزائیکی ارقام گندم، کشت ارقام حامل ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای بسته به نژادهای شایع قارچ عامل بیماری در مناطق مختلف کشور، در دستور کار قرار گیرند. همچنین، می‌توان از ژن‌های مقاومت موثر در توسعه تدریجی زنگ (Slow rusting) به‌عنوان مکمل ژن‌های مقاومت مذکور استفاده شود.

نتایج پژوهش های متعدد نشان داده است که ترکیب چندین ژن مقاومت گیاهچه‌ای در ارقام گندم نیز ممکن است یک راهبرد مؤثر برای جلوگیری از شکسته شدن ژن‌های مقاومت باشد. برای هرمی کردن ژن‌های مقاومت جهت دستیابی به مقاومت پایدارتر و ثبات طولانی‌تر، استفاده از نشانگرهای مولکولی که پیوستگی نزدیکی با ژن‌های مقاومت به زنگ دارند، یک ابزار تشخیصی مؤثر و قابل اطمینان به‌شمار می‌روند. به‌نژادگران با استفاده از اطلاعات ژن‌های مقاومت در ارقام گندم و دورگ گیری‌های هدفمند می توانند با هرمی کردن ژن‌های کنترل کننده مقاومت به بیماری زنگ قهوه ای در ارقام تجاری و پرمحصول گندم ضمن کاهش خسارت ناشی از گسترش بیماری بر کمیت و کیفیت محصول از بروز همه‌گیری بیماری نیز جلوگیری کنند. توده‌های گندم ایرانی ممکن است دارای منابع مقاومت خوبی در برابر زنگ قهوه ای باشند.

به نظر می‌رسد که حضور ژن‌های مقاومت *Lr13* و *Lr34* در اکثر لاین های پیشرفته و مواد ژنتیکی دریافت شده از مرکز بین‌المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) که به شکل مستقیم به عنوان رقم معرفی شده اند و یا به‌عنوان منابع مقاومت به بیماری در برنامه به نژادی گندم در ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند، روی کاهش خسارت ناشی از بیماری زنگ قهوه‌ای در ایران تأثیر داشته اند (Singh, 1993; Afshari, 2000). فراوانی قطعات ژنی *Sr31/Lr26/Yr9* و *Lr34/Yr18/Pm*36 در ژنوتیپ‌های گندم ایران نیز نشان از تثبیت این آلل‌ها در میان این گندم‌ها دارد (Dadrezaei and Nazari, 2015). در هر حال، بررسی‌های دیگر نیز نشان دهنده پایین بودن تنوع در ژرم‌پلاسم گندم ایران از نظر منابع ژنی مقاومت به زنگ قهوه‌ای می‌باشند (Dadrezaei and Nazari, 2015). این موضوع به‌نظر ممکن است در درازمدت آسیب‌زا باشد چون نژادهای جدید قارچ عامل بیماری زنگ قهوه ای ممکن است با ایجاد پرآزاری بر روی گیاهان حامل این ژن‌ها، امکان شکست مقاومت موجود را فراهم کنند.

سپاسگزاری

این مقاله از داده های پروژه پژوهشی مصوب ۰۰۱۰۳۲-۱۳۷-۰۳۱۶-۰۳-۰۳ بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه و نگارش شده است. نگارندگان بدینوسیله از پشتیبانی و مساعدت مدیریت بخش تحقیقات غلات و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و

بذر برای پشتیبانی از اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند. از کارشناسان و کارکنان گلخانه ها که در اجرای این پژوهش همکاری کردند تشکر می‌نمایند.

عدم تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌دارند که هیچگونه تعارض منافعی باهم و سایر اشخاص حقوقی/حقیقی ندارند.

References

Afshari, F. 2000. Studies on rust resistance in wheat with particular emphasis on stripe rust. Ph.D. Thesis, University of Sydney, Sydney, Australia. 252 pp.

Bolton, M. D., Kolmer, J. A. and Garvin, D. F. 2008. Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina. Molecular Plant Pathology*, 9, pp.563–575. DOI: 10.1111/J.1364-3703.2008. 00487.X

Chen, X. M. 2005. Review/Synthèse Epidemiology and evaluation of stripe rust [*Puccinia striiformis f. sp. tritici*] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, *27*, pp.314–337. DOI: 10.1080/07060660509507230

Dadrezaei, S. T. and Nazari, K. 2015. Detection of wheat rust resistance genes in some of the Iranian wheat genotypes by molecular markers. *Seed and Plant Improvement Journal*, *31*, pp.163-187 (in Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111253

Dadrezaei, S. T., Tabatabaei, N., Lakzadeh, I., Jafarnejad, A., Afshari, F. and Hassanbayat, Z. 2018. Evaluation of tolerance to leaf rust disease in some selected bread wheat genotypes. *Applied Entomology and Phytopathology*, *86*, pp. 29-40 (in Persian). DOI: 10.22092/jaep.2018.109374.1153

Dadrezaei, S. T., Dehghan, M. A., Safavi, S., Dalvand, M. and Shahbazi, K. 2023. Resistance evaluation of advanced and commercial genotypes of Iranian wheat to leaf rust at seedling and adult plant stages. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *11*, pp.1-13. DOI: 10.22034/arpp.2022.15742

Ghasemzadeh, E., Afshari, F., Khodarahmi, M. and Bihamta, M. 2010. Study on the genetics of resistance to leaf rust in some advanced lines of wheat at seedling stage. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *6*, pp.51– 59.

Goyeau, H. and Lannou, C. 2011. Specific resistance to leaf rust expressed at the seedling stage in cultivars grown in France from 1983 to 2007. *Euphytica, 178*, pp.45–62. DOI: 10.1007/s10681-010-0261-5

Goyeau, H., Park, R., Schaeffer, B. and Lannou, C. 2006. Distribution of pathotypes with regard to host cultivars in French wheat leaf rust populations. *Phytopathology, 96,* pp.264-273. DOI: 10.1094/PHYTO-96-0264

Huerta-Espino, J., Singh, R., Crespo-Herrera, L. A., Villaseñor-Mir, H. E., Rodriguez-Garcia, M. F., Dreisigacker, S., Barcenas-Santana, D. and Lagudah, E. 2020. Adult plant slow rusting genes confer high levels of resistance to rusts in bread wheat cultivars from Mexico. *Frontiers in Plant Science, 11, 824*. DOI: 10.3389/fpls.2020.00824

Huerta-Espino, J., Singh. R. P. S., Germa´n, S., McCallum, B. D., Park, R. F., Chen, W. Q., Bhardwaj, S. C. and Goyeau, H. 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina. Euphytica, 179,* pp.143–160. DOI:10.1007/s10681-011-0361-x

Jin, Y., Szabo, L. J. and Carson, M. 2010. Century-old mystery of *Puccinia striiformis* life history solved with the identification of Berberis as an alternate host. *Phytopathology, 100,* pp.432–435. DOI: 10.1094/PHYTO-100-5-0432

Knott, D. R. 1989. The wheat rusts-breeding for resistance. Springer-Verlag, Heidelberg. 201pp. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-83641-1

Kolmer, J. A. 2005. Tracking wheat rust on a continental scale. *Current Opinion in Plant Biology, 8,* pp.441–449. DOI: 10.1016/j.pbi.2005.05.001

Lagudah, E. S. 2011. Molecular genetics of race non-specific rust resistance in wheat. *Euphytica, 179*(1), pp.81-9. DOI: 10.1007/s10681-010-0336-3

Line, R. F. 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: a retrospective historical review. *Annual Review of Phytopathology, 40,* pp.75–118. DOI: 10.1146/annurev.phyto.40.020102.111645

McIntosh, R. A., Wellings, C. R. and Park, R. F. 1995. Wheat Rusts: an atlas of resistance genes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 220 pp.

Mohajervatan, F., Nasrollahnejad Ghomi, A. A., Kalate Arabi, M. and Dehghan, M. A. 2016. Evaluation of Resistance to leaf rust in some wheat cultivars in field and greenhouse conditions. *Journal of crop breeding, 8,* pp.70-76 (in Persian). DOI: 20.1001.1.22286128.1395.8.20.6.3

Omrani, A. and Dadrezaei, S. T. 2024. Investigation of resistance responses in elite wheat lines and cultivars to brown rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in the Moghan plain. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 47,* pp.1-20. (in Persian). DOI: 10.22055/ppr.2024.46519.1737

Pathan, A. K. and Park, R. P. 2006. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. *Euphytica, 149,* pp.327-342. DOI:10.1007/s10681-005-9081-4

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,* pp.496-500. DOI:10.1139/CJR48C-033

Roelfs, A. P., Singh, R. P. and Saari, E. E. 1992. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT, Mexico, D.F., 81 pp.

Singh, R. P. 1993. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars. *Crop Science, 33,* pp.633-637. DOI:10.2135/cropsci1993.0011183X003300030041x

Singh, R. P. 1999. Chen, W. Q., and He, Z. H. 1999. Leaf rust resistance of spring, facultative, and winter wheat cultivars from China. *Plant Disease, 83*, pp.644-651. DOI: 10.1094/PDIS.1999.83.7.644

Singh, R. P., Huerta-Espino, J. and Rajaram, S. 2000. Achieving near-immunity to leaf and stripe rusts in wheat by combining slow rusting resistance genes. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica, 35,* pp.133–139.

Zarandi, F., Afshari, F. and Rezaie, S. 2009. Study of resistance components at seedling stage and field resistance to leaf rust in some elite wheat lines. *Seed and Plant Improvement Journal, 25,* pp.569-584 (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.110980

RESEARCH ARTICLE

Resistance of Some Wheat Commercial Cultivars and Promising Lines to Leaf Rust (*Puccinia triticina* Eriks.) Disease at Seedling and Adult-Plant Stages

S. T. Dadrezaei[1], A. Omrani[2], A. Malihipour[1], S. N. Tabatabaeifard[3], S. M. Tabib-Ghaffari[4]

1. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2. Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Moghan, Iran.
3. Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran.
4. Assistant Professor, Field and Horticultural Crops Science Research Department, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Dezful, Iran

ABSTRACT

Dadrezaei, S. T., Omrani, A., Malihipour, A., Tabatabaeifard, S. N., Tabib-Ghaffari, S. M. 2024. Resistance of some wheat commercial cultivars and promising lines to leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) disease at seedling and adult-plant stages**.** *Seed and Plant,40*, pp.151–170 (in Persian).

Wheat leaf rust (brown rust) caused by *Puccinia triticina* Eriks. is an important disease of wheat crop in Iran. This research project was carried out to evaluate the reaction of 52 commercial cultivars and promising lines of different national wheat breeding programs of Iran to wheat leaf rust disease at seedling and adult plant stages. The results showed that at the seedling stage, 35% of the tested cultivars and promising lines were resistant to used leaf rust isolates. The results of field showed that all wheat genotypes of the south warm and dry zone, wheat genotypes of north warm and humid zone, and all durum wheat genotypes, 75% of wheat genotypes of the temperate zone, 60% of wheat genotypes of the salinity breeding program and 42% of wheat genotypes of cold zone, had reasonable level of resistance (50MS, 50MR, 40S and less) to used leaf rust isolates. In this research, five wheat genotypes; cv. Araz, N-98-20, C-98-7, C-98-8 and CD-99-15 were resistant in all regions under field conditions. But they were susceptible to all used leaf rust isolates in the seedling stage, therefore, these wheat genotypes may carry adult plant resistance gene(genes).

Keywords: Bread wheat, durum wheat, adult plant resistance, seedling resistance, susceptibility.

Introduction

Wheat leaf rust, caused by *Puccinia triticina* (Pt), is one of the most important foliar diseases in wheat worldwide. Recent studies have showed that the average damage caused by leaf rusts (brown), stripe rust (yellow) and stem rust (black) in wheat crop is about 15 million tons per year, which is equivalent to an annual average of about US $2.9 billion per year (Huerta-Espino *et al.*, 2020). Dadrezaei *et al.,* (2018) reported that the average wheat yield loss caused by leaf rust in Iran was estimated to be about 25%, and the yield loss varied from 7 to 46 percent in different regions and cultivars (Dadrezaei *et al.,* 2018). Although fungicides are widely used to control the disease, the use of resistant cultivars is considered the most effective, most efficient, economical, and the safest approach for controlling and managing this disease, and is compatible with the environment. The main focus in global wheat breeding programs is the development of rust-resistant cultivars. The development of resistant cultivars is a continuous process because the resistance of resistant cultivars may break by mutation in the genome of the pathogen. For this reason, there is a constant need to investigate the virulence/avirulence of the disease agent, and identify and develop new sources of resistance.

Materials and Methods

This research was carried out to evaluate reaction of 52 wheat commercial cultivars and promising lines from different national wheat breeding programs, and susceptible control (Bolani), to wheat leaf rust at seedling and adult plant stages with artificial inoculation. Resistance of wheat commercial cultivars and promising lines at seedling stage was evaluated using six wheat leaf rust isolates from the areas where the field experiments for adult plant stages resistance were carried out. The wheat commercial cultivars and promising lines were evaluated at adult plant stages in Kalardasht and Parsabad Moghan under natural infection and in Dezful and Shavour under artificial infection conditions in 2023 and 2024 cropping seasons. To evaluate the reaction of the wheat genotypes in field conditions and in leaf rust epidemic conditions, cultivars and promising lines were cultivated in early December 2023 and 2024 at Safiabad Dezful, Shavour, Kalardasht and Parsabad Moghan, Agricultural and Natural Resources Research field Stations. The inoculation of the wheat genotypes was done using the leaf rust isolate of each region in the form of a mixture of rust spores and talcum powder in Ahvaz and Dezful during three stages under favorable environmental conditions in the evening in 2023-2024 cropping seasons, however, at Kalardasht and Parsabad Moghan research filed stations, the incidence and spread of leaf rust occurred naturally without artificial inoculation.

Results and Discussion

The results of this research showed that at the seedling stage, 35% of wheat commercial cultivars and promising lines were resistant to used leaf rust isolates. In field conditions, 79% of the studied wheat cultivars and promising lines had reasonable level

of resistance (50MS, 50MR, 40S and less) in four places in 2023 and 2024 cropping seasons in the adult plant stage. Theses genotypes included; cv. Tektaz, cv. Araz, cv. Arman, cv. Fallah, cv. Raj, cv. Azadegan, cv. Darioun, cv. Jalal, cv. Owj, cv. Danesh, cv. Bamdad, cv. Sepehr and cv. Avan are bread wheat commercial cultivars released in recent years. Ten wheat promising lines and cv. Simin showed susceptible reaction. The results of field evaluation showed that all the wheat genotypes of the south warm and dry zone, the wheat genotypes of north warm and humid zone, and all the durum wheat genotypes, 75% of the wheat genotypes of the temperate zone, 60% of the wheat genotypes of the salinity wheat breeding program, and 42% of the wheat genotypes of cold zone, had reasonable level of resistance to used leaf rust isolates. In this research, cv. Araz and four wheat promising lines; N-98-20, C-98-7, C-98-8 and CD-99-15 were resistant in all research filed stations, under field conditions. However, they were susceptible to all used leaf rust isolates at the seedling stage. Therefore, these genotypes may carry the adult plant resistance gene(genes). The presence of *Lr13* and *Lr34* resistance genes in most of the advanced lines and genetic materials received from Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) that have been released directly as new cultivars or indirectly as sources of resistance in the national wheat breeding programs have contributed to reduce leaf rust disease to wheat crop in Iran (Singh, 1993).

References

Dadrezaei, S. T., Tabatabaei, N., Lakzadeh, I., Jafarnejad, A., Afshari, F. and Hassanbayat, Z. 2018. Evaluation of tolerance to leaf rust disease in some selected bread wheat genotypes. *Applied Entomology and Phytopathology, 86,* pp. 29-40 (in Persian). DOI: 10.22092/jaep.2018.109374.1153

Huerta-Espino, J., Singh, R., Crespo-Herrera, L. A., Villaseñor-Mir, H. E., Rodriguez-Garcia, M. F., Dreisigacker, S., Barcenas-Santana, D. and Lagudah, E. 2020. Adult plant slow rusting genes confer high levels of resistance to rusts in bread wheat cultivars from Mexico. *Frontiers in Plant Science, 11, 824*. DOI: 10.3389/fpls.2020.00824

Singh, R. P. 1993. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars. *Crop Science, 33,* pp.633-637. DOI:10.2135/cropsci1993.0011183X003300030041x

*__Corresponding author__: Tahareza2000@yahoo.com Tel.: +982636701106

Received: 27 June 2024
Accepted: 04 August 2024

2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.