پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۳ (۳): ۳۳۱-۳۱۹ (۱۴۰۳)- مقاله پژوهشی
Journal of Applied Research in Plant Protection 13 (3): 319–331 (2024)-*Research Article*

https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2024.18069

پایش فاکتورهای پرآزاری قارچ *Puccinia triticina*، عامل زنگ قهوه‌ای گندم در ایران در سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۰

سید طه دادرضائی[۱]✉، علی عمرانی[۲]، سید نصرت‌اله طباطبائی‌فرد[۳]، محمد دالوند[۴]، صفرعلی صفوی[۵]، محمدعلی دهقان[۶]، الهام الاحسنی[۱]، سید محمود طبیب غفاری[۴]، علی ناظری[۱]، فرنو ملک‌پور[۱]، زهره حسن‌بیات[۱]، حسین‌علی فلاحی[۷]، عزت‌اله نباتی[۸]، داریوش صفایی[۹]

[۱]بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. [۲]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران. [۳]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]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران. [۵]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. [۶]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. [۷]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. [۸]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران. [۹]بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. ✉Tahareza2000@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۹ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

چکیده

زنگ قهوه‌ای گندم با عامل *Puccinia triticina*، به‌لحاظ وسعت پراکندگی و میزان خسارت در دنیا، مهم‌ترین بیماری گندم می‌باشد. این بیماری به‌دلیل تغییرات نژادی در قارچ عامل آن و ظاهر شدن نژادهای جدید، به یک چالش بزرگ برای دستیابی به مقاومت پایدار در گندم تبدیل شده است. برای بررسی چنین تغییرات احتمالی و شناسایی فاکتورهای پرآزاری در قارچ عامل بیماری، تحقیق حاضر از طریق کاشت خزانه‌های تله (Trap Nurseries) در ده منطقه از کشور شامل کرج، گرگان، ساری (قائم‌شهر)، کلاردشت، اردبیل، مغان، بروجرد، اهواز، دزفول و کرمانشاه اجرا گردید. در این تحقیق ۳۹ لاین افتراقی که اکثراً از لاین‌های تقریباً ایزوژنیک (Near Isogenic Lines = NILs) به‌دست آمده از رقم تاچر (Thatcher) بودند و هر کدام از لاین‌های ایزوژنیک حامل یک یا چند ژن مقاومت مشخص در برابر زنگ قهوه‌ای گندم می‌باشند، طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله باز شدن کامل برگ پرچم و پس از یکنواختی در ظهور بیماری برروی رقم حساس، از شدت و تیپ آلودگی رقم‌ها/لاین‌های آزمایشی یادداشت برداری گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ برروی ژن‌های *Lr1*، *Lr2a*، *Lr3ka*، *Lr10*، *Lr11*، *Lr12*، *Lr14b*، *Lr17*، *Lr18*، *Lr19*، *Lr20*، *Lr21*، *Lr22a*، *Lr29*، *Lr32*، *Lr33*، *Lr34* و *Lr37* و در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ برروی ژن‌های *Lr9*، *Lr17*، *Lr18*، *Lr19*، *Lr22a*، *Lr29* و *Lr30* پرآزاری مشاهده نگردید. بنابراین و با توجه به عدم بروز پرآزاری روی ژن‌های *Lr17*، *Lr18*، *Lr19*، *Lr22a* و *Lr29* طی دو سال زراعی مذکور، این ژن‌ها می‌توانند به‌عنوان ژن‌های مؤثر در برابر قارچ عامل بیماری در نظر گرفته شوند.

کلمات کلیدی: پرآزاری، خزانه تله، زنگ برگی گندم، ژن‌های مقاومت، ناپرآزاری.

Monitoring the virulence factors of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Iran during the cropping years 2022-2023

Seyed Taha Dadrezaei✉[1], Ali Omrani[2], Seyed Nosratollah Tabatabaeifard[3], Mohammad Dalvand[4], Safarali Safavi[5], Mohammadali Dehghan[6], Elham Allahassani[1], Seyed Mahmoud Tabib-Ghaffari[4], Ali Nazeri[1], Farno Malekpour[1], Zohreh Hassan-Bayat[1], Hosseinali Fallahi[7], Ezzatollah Nabati[8], Darioush Safaei[9].✉Tahareza2000@yahoo.com

[1]Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. [2]Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran. [3]Crop and Horticultural Science Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran. [4]Crop and Horticultural Science Research Department, Safiabad Dezful Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran [5]Crop and Horticultural Science Research Department, Ardebil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ardebil, Iran. [6]Crop and Horticultural Science Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. [7]Crop and Horticultural Science Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran. [8]Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Boroujerd, Iran. [9]Plant Protection Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran. ✉Tahareza2000@yahoo.com

Received: 20 December 2023 Revised: 27 April 2024 Accepted: 28 April 2024

Abstract

Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina* is the most important wheat disease in terms of its wide distribution and yield loss in the world. To investigate the virulence factors of *P. triticina* in Iran, the present research was carried out in several locations including Karaj, Gorgan, Sari (Ghaemshahr), Kelardasht, Ardabil, Moghan, Boroujerd, Ahvaz, Dezfoul, and Kermanshah. In this research, 39 Near isogenic lines (NILs) developed from the wheat cultivar Thatcher and each carrying a specific leaf rust resistance gene/s were examined under natural disease infection during the two years 2022-2023. At the full opening of flag leaf stage and after uniformity in disease emergence on the susceptible cultivar, disease severity and infection type were scored based on the modified Cobb scale and Rolfes *et al.* respectively. In this study, reactions of 50S and higher were recorded as virulence for the contaminated lines. Based on the isogenic lines reactions in different locations in 2022, no virulence was observed on *Lr1*, *Lr2a*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr12*, *Lr14b*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr20*, *Lr21*, *Lr22a*, *Lr29*, *Lr32*, *Lr33*, *Lr34* and the gene *Lr37* and in 2023 no virulence was observed on *Lr9*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr22a*, *Lr29* and the *Lr30*. Based on two-year results of isogenic lines in different locations, no virulence was observed on the genes *Lr17*, *Lr18*, *Lr19*, *Lr22a* and *Lr29* gene combination in the study areas during the two years of isogenic lines and then identified as effective genes for wheat rust disease. Virulence was observed on plants carrying other resistance gene/s, at least in one location tested, indicating ineffectiveness of the gene/s to leaf rust in that location.

Keywords: Resistance genes, Trap nurseries, Virulence/avirulence, Wheat brown rust.

How to cite:

Dadrezaei ST, Omrani A, Tabatabaeifard SN, Dalvand M, Safavi S, Dehghan MA, Allahassani E, Tabib-Ghaffari SM, Nazeri A, Malekpour F, Hassan-Bayat Z, Fallahi HA, Nabati E, Safaei D, 2024. Monitoring the virulence factors of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Iran during the cropping years 2022-2023. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 13 (3): 319-331.

مقدمه

در میان زنگ‌های گندم، زنگ قهوه‌ای یا زنگ برگی که توسط قارچ *Puccinia triticina* Eriks. ایجاد می‌گردد، از لحاظ وسعت پراکندگی و میزان خسارت در دنیا، مهم‌ترین زنگ گندم به‌شمار می‌رود (Huerta-Espino *et al*. 2011; Kolmer 2013). میزان خسارت این بیماری در رقم‌های حساس بیش از ۵۰٪ برآورد شده است (Ordoñez *et al*. 2010). در ایران این بیماری از نظر اهمیت پس از بیماری زنگ زرد قرار دارد، ولی گستردگی آن از زنگ زرد بیشتر می‌باشد (Torabi *et al*. 2001).

مطالعات وسیعی برروی ژنتیک قارچ عامل بیماری در سراسر دنیا با تولید لاین‌های تقریباً ایزوژنیک (Near Isogenic Lines) با استفاده از رقم ویچیتا (Wichita) (Johnston & Heyne 1964) و سپس در دهه ۱۹۹۰ با استفاده از رقم تاچر (Thatcher) (Dyck & Samborski 1968) که فقط در یک ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای با هم اختلاف داشتند، به انجام رسیده است. تاکنون بیش از ۸۰ ژن مقاومت نسبت به زنگ قهوه‌ای در گندم شناسایی‌شده است. از میان این ژن‌ها، به استثنای ژن‌های *Lr34*، *Lr46*، *Lr67*، *Lr68*، *Lr74*، *Lr75*، *Lr77* و *Lr78* که از نوع ژن‌های مقاومت غیر اختصاصی یا گیاه کامل هستند، بقیه جزو ژن‌های مقاومت اختصاصی یا گیاهچه به‌شمار می‌روند (McIntosh *et al*. 2014; Qureshi 2017; Zhang *et al*. 2020; Kumar *et al*. 2022).

اولین نژادهای شناسایی شده از قارچ عامل بیماری در کشور نژادهای 57، 64، 122، 143، 167، Rin1، Rin2 و Rin3 بودند که روی ژن‌های مقاومت *Lr2c*، *Lr3a*، *Lr11* و *Lr25* پرآزاری داشتند (Bamdadian 1973). بعدها پرآزاری روی ژن *Lr9* طی سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۷۵ در برخی نقاط کشور و در سال ۱۳۷۸ فقط در خوزستان مشاهده شد (Torabi *et al*. 2003). همچنین وجود پرآزاری روی ژن‌های *Lrb*، *Lr10*، *Lr12*، *Lr14a*، *Lr14b*، *Lr18*، *Lr35* و *Lr37* گزارش شده است (Mahdian *et al*. 1999). در بررسی‌های بعدی انجام شده در کشور، برروی ژن‌های *Lr1*، *Lr2c*، *Lr3a*، *Lr3bg*، *Lr10*، *Lr11*، *Lr13*، *Lr14b*، *Lr15*، *Lr16*، *Lr18*، *Lr20*، *Lr33* و *LrB* پرآزاری دیده شد اما گیاهان حامل ژن‌های *Lr2a*، *Lr3ka*، *Lr9*، *Lr14a*، *Lr19*، *Lr23*، *Lr25*، *Lr26*، *Lr28*، *Lr29*، *Lr30*، *Lr32* و *Lr36* در برابر قارچ عامل بیماری واکنش مقاومت نشان دادند و کارآیی داشتند (Afshari 2008). همچنین در یک تحقیق دو ساله در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ ۲۰ پاتوتیپ و ۱۳ نژاد در سال اول و ۲۸ پاتوتیپ و ۱۱ نژاد در سال دوم شناسایی شد که نژادهای PKTTS (با فراوانی ۲۷ درصد) و PKTTT (با فراوانی ۱۸ درصد) شایع‌ترین نژادهای شناخته شده بودند. بر این اساس لاین‌های افتراقی حامل ژن‌های مقاومت *Lr19* و *Lr9* نسبت به تمام جدایه‌های مورد مطالعه مقاوم بودند و پرآزاری بر روی آن‌ها مشاهده نشد (Dadrezaei *et al*. 2022).

تجزیه و تحلیل نژاد *P. triticina* نشان می‌دهد که سطوح بالایی از تنوع پرآزاری در سراسر جهان موجود است. مهاجرت و جهش از علل اساسی ظهور فراوان نژادهای جدید و غیر بومی با منشاء ناشناخته می‌باشد (Kolmer 2001). در ایران نیز بروز نژاد جدید و مهاجم زنگ زرد در سال ۱۳۷۱ که بر روی گیاهان حامل ژن *Yr9* مانند رقم گندم فلات پرآزاری داشت و نژاد جدیدی که در سال ۱۳۸۲ بر روی گندم‌های مقاوم حامل ژن *Yr27* مانند چمران پرآزاری داشت و ظهور نژاد *Ug99* از زنگ سیاه در سال ۱۳۸۶ از جمله پیامدهای جهش و یا مهاجرت نژادی می‌باشد (Afshari *et al*. 2003; Dadrezaei *et al*. 2017).

زنگ‌ها از نظر پرآزاری به میزان بالایی تغییرپذیر هستند، زیرا قابلیت تغییر داشته و نژادهای پرآزار جدید تولید می‌کنند و فراوانی و توزیع نژادهای موجود قبلی را تغییر می‌دهند (McIntosh & Brown 1997; Hovmøller *et al*. 2016; Malihipour & Najafian 2023). با توجه به این امر، شناسایی پرآزاری قارچ عامل بیماری برروی ژن‌های مقاومت و تعیین ساختار ژنتیکی جمعیت عامل بیماری در یک منطقه دارای اهمیت زیادی می‌باشد. بر این اساس این تحقیق انجام شد تا ضمن استمرار در تعیین ژن‌های پرآزاری جمعیت عامل بیماری و بررسی سیر تغییرات آن، ژن‌های مقاومت موثر گندم را شناسایی و از آن در جهت اصلاح ارقامی که دارای صفات مناسب زراعی هستند استفاده گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ و در شرایط آلودگی طبیعی مزرعه با کاشت خزانه‌های تله در ۱۰ منطقه مهم کشت گندم در کشور شامل گرگان، اهواز، دزفول، ساری (قائم‌شهر)، کلاردشت، اردبیل، مغان، کرج، بروجرد و کرمانشاه اجرا گردید. مشخصات جغرافیایی و اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی محل اجرای این پژوهش در جداول شماره ۱ و ۲ ارائه شده است. در این بررسی تعداد ۳۹ لاین افتراقی که اکثراً از لاین‌های تقریباً ایزوژنیک که

از رقم تاچر تهیه شده‌اند و هر کدام حامل یک یا چند ژن مقاومت مشخص در برابر زنگ قهوه‌ای گندم می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفتند. از هر ژنوتیپ، به میزان ۱۰ گرم بذر بر روی دو خط یک متری و روی یک پشته با فاصله ۳۰ سانتی‌متری از هم کشت شد. پس از هر ده رقم و در اطراف خزانه آزمایشی نیز رقم حساس بولانی به‌عنوان شیوع دهنده بیماری کشت گردید. یادداشت برداری از شدت آلودگی در مرحله ظهور برگ پرچم پس از یکنواختی در ظهور بیماری برروی رقم حساس (بولانی) از طریق تعیین درصد پوشش آلوده‌ی سطح برگ (۱۰۰-۰) براساس روش اصلاح شده کوب (The Modified Cobb Scale) (Peterson *et al.* 1948) همچنین، تیپ آلودگی براساس روش Roelfs *et al.* (1992) به‌شرح ذیل انجام شد:

O = مصون، بدون هیچگونه علائم؛

R = مقاوم، ظهور لکه‌های نکروتیک، بدون ظهور اسپور، یا جوش‌های ریز و پراکنده؛

MR = نیمه مقاوم، ظهور جوش‌های کوچک زنگ که بوسیله لکه‌های نکروتیک و گاهی کلروتیک احاطه شده‌اند

MS = نیمه‌حساس، ظهور جوش‌هایی به‌اندازه متوسط، بدون لکه‌های نکروتیک، گاهی همراه با لکه‌های کلروتیک؛

S = حساس، وجود جوش‌های بزرگ زنگ به‌مقدار فراوان و بدون لکه‌های کلروتیک و گاهی همراه با این لکه‌ها؛ در این بررسی، آلودگی بالاتر از 50S به‌عنوان بیماری‌زایی (پرآزاری) روی ژن‌های مورد مطالعه منظور شد.

جهت انجام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های افتراقی زنگ قهوه‌ای مورد استفاده براساس صفات اندازه‌گیری شده (شدت و تیپ آلودگی) از روش وارد (ward) و نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده گردید.

نتایج

نتایج پایش فاکتورهای پرآزاری و کارائی ژن‌های موثر نسبت به عامل بیماری زنگ قهوه‌ای گندم در مناطق مختلف کشور طی دو سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ و ۰۲-۱۴۰۱ به‌ترتیب در جداول شماره ۳ و ۴ آورده شده است.

در تجزیه خوشه‌ای لاین‌های افتراقی حامل ژن‌های مقاومت افتراقی براساس واکنش در گروه‌های جداگانه موثر و غیرموثر طبقه بندی شدند.

نتایج سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰ زنگ قهوه‌ای در چهار منطقه کرج، بروجرد، کرمانشاه و اردبیل به‌دلیل شرایط نامساعد جوی توسعه چندانی پیدا نکرد. در منطقه کلاردشت نیز به‌دلیل شدت بیماری زنگ سیاه و پوشش تمام برگ‌های گیاهان توسط این بیماری، زنگ قهوه‌ای برروی لاین‌های افتراقی و سایر ژنوتیپ‌های آزمایشی توسعه چندانی نداشت. در کلاردشت حداکثر شدت ثبت شده 40MS برروی لاین افتراقی حامل ژن *Lr30* ثبت شد. مطابق فرمت اجرای خزانه‌های تله، آلودگی خزانه‌های تله در شرایط طبیعی است و مایه‌زنی انجام نمی‌شود. در هر حال، با توجه به اینکه در سه منطقه اهواز، دزفول و گرگان خزانه‌های تله در کنار خزانه‌های ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های به‌نژادی نسبت به بیماری که در آنها مایه‌زنی مصنوعی انجام شد، قرار داشتند، خزانه‌های تله نیز تحت تاثیر غیر مستقیم مایه‌زنی مصنوعی با پاتوتیپ‌های محلی مورد استفاده در مایه‌زنی‌ها قرار گرفتند. در دو منطقه ساری و مغان بیماری در شرایط آلودگی طبیعی ایجاد شد.

براساس نتایج به‌دست آمده از بررسی حاضر، در منطقه اهواز روی ژن‌های *Lr22b*، *Lr2b*، *Lr2c*، *Lr14a*، *Lr23* و *Lr24* در دزفول روی ژن‌های *Lr2c*، *Lr3*، *Lr15*، *Lr16*، *Lr23*، *Lr24*، *Lr25*، *Lr26*، *Lr10/Lr27+/Lr31*، *Lr28*، *Lr35* و *Lr36* در گرگان روی ژن‌های مقاومت *Lr26*، *Lr30* و *Lr35* در ساری روی ژن‌های *Lr24*، *Lr25*، *Lr26* و *Lr28* و در مغان روی ژن‌های *Lr3bg*، *Lr9*، *Lr13*، *Lr14a*، *Lr15*، *Lr25*، *Lr26* و *Lr36* پرآزاری مشاهده شد.

در تجزیه خوشه‌ای لاین‌های افتراقی نسبت به بیمارگر زنگ قهوه‌ای مناطق دزفول، اهواز، گرگان، ساری، کلاردشت و مغان در سال زراعی ۰۱-۱۴۰۰، ۱۲ لاین افتراقی (حدود ۳۱ درصد) در تمامی مناطق واکنش حساسیت شدید، ۱۱ ژنوتیپ (حدود ۲۸ درصد) در تمامی مناطق واکنش مقاومت قابل قبول نشان دادند. مابقی لاین‌های افتراقی (حدود ۴۱ درصد) در برخی از مناطق دارای واکنش مقاومت و در برخی مناطق دیگر دارای واکنش حساسیت بودند.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی، میانگین دما و بارندگی ایستگاه‌های تحقیقاتی محل اجرای پروژه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰.

Table 1. Geographic coordinates, average temperature and rainfall of the research stations where the project was implemented in 2022.

				Feb-22		Mar-22		Apr-22		May-22		Jun-22	
Research station	**latitude**	**Longitude**	**Above sea level**	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**
Ahvaz	31˚ 18'	48˚ 38'	17	13.9	26	18.8	38	26.7	0	31.1	3	38.2	0
Dezful	32˚ 14'	48˚ 26'	80	12.1	50	16.3	32	22.6	2	27.4	5	35.7	0
Kermanshah	34˚ 16'	46˚ 50'	1380	3.1	50	7.4	37	14.6	35	17.4	68	26	2
Borujerd	33˚ 50'	48˚ 47'	1520	3.2	100	8.2	57	14.1	13	17.2	27	25.4	0
Ardabil	38˚ 10'	48˚ 23'	1367	0.2	39	3.6	42	10.1	37	12.6	61	19.1	14
Moghan	39˚ 59'	47˚ 91'	72	5.6	24	6.7	69	12.8	22	18.2	28	24.7	24
Karaj	35˚ 47'	50˚ 55'	1258	2.5	75	8.3	52	14	33	18.4	45	25.9	2
Kelardasht	36˚ 30'	51˚ 10'	1250	10.4	102	10.2	121	14	82	17.3	123	22.6	50
Karakhil	36˚ 29'	52˚ 46'	14	7.9	80	10.8	62	14.6	31	18.2	52	24.1	7
Gorgan	36˚ 54'	54˚ 25'	5	9.2	99	11.5	53	15	42	18.5	89	25.1	4

جدول ۲. میانگین دما و بارندگی ایستگاه های تحقیقاتی محل اجرای پروژه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

Table 2. The average temperature and rainfall of the research stations where the project was implemented in 2023.

	Feb-23		Mar-23		Apr-23		May-23		Jun-23	
Research station	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**	**°C (mean)**	**Precipitation**
Ahvaz	12	65	19.6	74	21.4	64	31	5	37.7	0
Dezful	11	143	17.8	113	19.2	181	27	4	34.5	0
Kermanshah	1.6	41	9.9	101	11.7	85	16.9	69	23.7	11
Borujerd	1.7	122	8.8	69	11.8	67	17.4	7	23.8	9
Ardabil	0.6	25	8.2	64	10.5	34	14.2	64	19.2	30
Moghan	3.7	18	11.2	18	14.6	28	18.5	52	25.9	29
Karaj	0.5	99	9.3	110	13.1	61	19.3	28	25.6	25
Kelardasht	8.2	134	12.7	76	14.8	121	17.9	169	23.8	67
karakhil	6.6	79	12.4	29	15.3	55	19	72	25.1	51
Gorgan	7.2	47		30	16.4	40	20	79	26.4	27

نتایج سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ زنگ قهوه‌ای در سه منطقه کرج، بروجرد و کرمانشاه، بیماری به‌دلیل شرایط نامساعد محیطی توسعه پیدا نکرد. در کلاردشت نیز با اینکه بیماری زنگ قهوه‌ای ظاهر شد ولی به‌دلیل شدت بیماری زنگ سیاه و پوشش تمام برگ‌های رقم‌های حساس توسط این بیماری، زنگ قهوه‌ای برروی لاین‌های افتراقی و سایر ژنوتیپ‌ها توسعه چندانی نداشت. همچنین، در اردبیل با اینکه زنگ قهوه‌ای به صورت طبیعی ظاهر شد اما به‌دلیل شدت بیماری زنگ زرد و پوشش تمام برگ‌های رقم‌های حساس توسط این بیماری، زنگ قهوه‌ای همانند کلاردشت برروی لاین‌های افتراقی و سایر ژنوتیپ‌ها توسعه پیدا نکرد.

براساس نتایج به‌دست آمده از این بررسی، در دزفول زنگ قهوه‌ای برروی گیاهان حامل ژن‌های مقاومت *Lr2a*، *Lr9*، *Lr16*، *Lr17*، *Lr18*، *Lr19*، *Lr20*، *Lr21*، *Lr22a*، *Lr10/Lr27+/Lr31*، *Lr29*، *Lr30*، *Lr32*، *Lr33*، *Lr34* و *Lr37* پرآزاری نداشت. اما برروی ۲۱ لاین حامل ژن‌های مقاومت *Lr1*، *Lr2b*، *Lr2c*، *Lr3*، *Lr3ka*، *Lr3bg*، *Lr10*، *Lr11*، *Lr12*، *Lr13*، *Lr14a*، *Lr14b*، *Lr15*، *Lr23*، *Lr24*، *Lr25*، *Lr26*، *Lr28*، *Lr35* و *Lr36* پرآزاری مشاهده گردید. در اهواز برروی ۱۲ لاین افتراقی حامل ژن‌های مقاومت *Lr9*، *Lr12*، *Lr13*، *Lr17*، *Lr19*، *Lr18*، *Lr22a*، *Lr10/Lr27+/Lr31*، *Lr28*، *Lr29*، *Lr30* و *Lr34* پرآزاری مشاهده نشد. برروی سایر لاین های افتراقی حامل ژن‌های مقاومت به‌دلیل شدت و توسعه زنگ قهوه‌ای به بیش از 50S پرآزاری ثبت گردید. در گرگان برروی ۱۱ لاین افتراقی حامل ژن‌های مقاومت *Lr2b*، *Lr9*، *Lr16*، *Lr17*، *Lr18*، *Lr20*، *Lr19*، *Lr21*، *Lr22a*، *Lr29* و *Lr30* پرآزاری مشاهده نشد. در ساری تنها برروی گیاه حامل ژن *Lr22b* پرآزاری ثبت شده است. در مغان پرآزاری برروی لاین‌های حامل ژن‌های مقاومت *Lr2a*، *Lr2b*، *Lr9*، *Lr16*، *Lr17*، *Lr18*، *Lr19*، *Lr20*، *Lr21*، *Lr22a*، *Lr23*، *Lr24*، *Lr25*، *Lr10/Lr27+/Lr31*، *Lr28*، *Lr29*، *Lr30*، *Lr33* و *Lr34* مشاهده نگردید. در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ پرآزاری برروی ژن‌های *Lr9*، *Lr17*، *Lr18*، *Lr19*، *Lr22a*، *Lr29* و *Lr30* مشاهده نگردید.

در تجزیه خوشه‌ای لاین‌های افتراقی نسبت به بیمارگر زنگ قهوه‌ای مناطق دزفول، اهواز، گرگان، ساری، کلاردشت و مغان در سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱، ۱۵ لاین افتراقی (حدود ۳۸ درصد) در تمامی مناطق واکنش حساسیت شدید، ۱۵ ژنوتیپ (حدود ۳۸ درصد) نیز در تمامی مناطق واکنش مقاومت قابل قبول نشان دادند. مابقی لاین‌های افتراقی (حدود ۲۴ درصد) در برخی از مناطق دارای واکنش مقاومت و در برخی دیگر دارای واکنش حساسیت بودند.

بحث

نتایج حاصل از دو سال اجرای آزمایش در مناطق مختلف کشور نشان داد که روی پنج ژن مقاومت *Lr17*، *Lr18*، *Lr19*، *Lr22a* و *Lr29* در مناطق مربوطه پرآزاری وجود ندارد. به‌عبارت دیگر حدود ۱۳ درصد از لاین‌های افتراقی در تمامی مناطق مورد مطالعه واکنش مقاومت نشان دادند. برای سایر ژن‌ها حداقل در یکی از مناطق مورد آزمایش پرآزاری مشاهده شد که نشان دهنده غیر مؤثر بودن آن‌ها در منطقه مربوطه می‌باشد. به عبارتی حدود ۸۷ درصد از ژن‌های موجود در لاین‌های افتراقی اثربخشی لازم در برابر نژادهای موجود در مناطق مختلف مورد مطالعه را نداشتند. بیشترین پرآزاری در جمعیت بیمارگر زنگ قهوه‌ای بر روی ژن‌های مقاومت به ترتیب در گرگان به میزان ۷۴ درصد، اهواز ۶۸ درصد، دزفول ۶۳ درصد، مغان ۵۵ درصد و ساری ۱۳ درصد مشاهده شد. در اردبیل با وجود اینکه بر روی ۴۷ درصد لاین های افتراقی واکنش حساسیت مشاهده شد (جدول ۴) اما همانگونه که اشاره شد به‌دلیل شدت بیماری زنگ زرد و پوشش تمام برگ‌های رقم‌های حساس توسط این بیماری، زنگ قهوه‌ای برروی لاین‌های افتراقی توسعه پیدا نکرد و پرآزاری قابل ثبت نبود.

در یکی از بررسی‌های انجام شده بر روی ژنتیک بیماریزایی قارچ عامل زنگ قهوه‌ای گندم، کارآیی ژن‌های *Lr9* و *Lr19* در برابر همه جدایه‌های قارچ عامل به اثبات رسیده است (Torabi *et al.* 2001). نتایج تحقیق حاضر همانند بررسی مذکور کارآیی ژن *Lr19* در مناطق مختلف کشور را نشان داد. در بررسی‌های دیگر انجام شده در کشور، ضمن شناسایی ۱۷۷ نژاد از قارچ عامل زنگ قهوه‌ای، مشخص شد که از بین نژادهای شناسایی شده، سه نژاد FKTRS، FJRRS و FKTTS به‌ترتیب دارای بیشترین فراوانی و دو نژاد TKTTN (اردبیل) و TFTTN (خراسان شمالی) با پرآزاری روی ۳۱ ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای، دارای بیشترین پرآزاری می‌باشند (Dadrezaei *et al.* 2012). با توجه به اینکه فقط یک جدایه از ۲۳۴ جدایه قارچ عامل بیماری روی ژن‌های *Lr28* و *Lr19* پرآزاری داشتند، این ژن‌ها با بیشترین کارآیی در برابر قارچ عامل بیماری تشخیص

داده شدند (Dadrezaei *et al*. 2012).

در زمینه تعیین نژاد و پرآزاری قارچ عامل زنگ قهوه‌ای در مناطق مختلف دنیا تحقیقات وسیعی انجام شده است. مطالعات مربوط به تعیین نژاد، باعث شناسایی نژادهای جدید در مناطق و گاه ردیابی مسیر حرکت این نژادها با تأیید داده‌های مولکولی شده‌اند. در اواسط دهه ۱۹۹۰ نژادهایی با پرآزاری برروی ژن‌های *Lr17*، *Lr3bg* و *LrB* در دشت‌های وسیع جنوب آمریکا گسترش یافت. تجزیه ژنتیکی با مارکرهای AFLP نشان داد که این نژادها احتمالا از مکزیک و یا از جنوب غرب اقیانوس آرام به این نواحی آمریکا وارد شده و ناشی از جهش در جمعیت‌های موجود منطقه نمی‌باشند (Kolmer 2001).

همچنین در استرالیا برای اولین بار در سال ۱۹۸۴ یک نژاد جدید و متمایز که برروی ژن‌های *Lr16*، *Lr27* و *Lr31* پرآزاری داشت، شناسایی شد که احتمالا از دیگر قاره‌ها وارد شده بود (Park *et al*. 1995). جمعیت‌های منطقه‌ای نژادهای *P. triticina* می‌تواند برخاسته از یک قاره که در اثر استفاده از رقم‌های گندم با ترکیب متفاوت ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای در مناطق متفاوت باشد، حاصل گردد. رقم‌های از گندم‌های زمستانه با ژن‌های *Lr3* و *Lr26* در اروپای مرکزی کشت می‌گردد که نژادهای با پرآزاری برروی ژن‌های *Lr3*، *Lr3bg*، *Lr3ka* و *Lr26* در آن‌جا رایج است. در مقابل نژادهایی از قارچ *P. triticina* که در غرب اروپا شایع بوده‌اند. فاقد پرآزاری روی این ژن‌های مقاومت بوده‌اند (Park & Felsenstein 1995).

در بررسی جدایه‌های *P. triticina* جمع‌آوری شده از گندم نان از کشورهای آسیای میانه شامل قزاقستان، ازبکستان، تاجیکستان، قرقیزستان و همچنین کشورهای منطقه قفقاز یعنی آذربایجان، گرجستان و ارمنستان، وجود دو جمعیت منطقه‌ای از این قارچ در دو منطقه مذکور را نشان دادند (Kolmer & Ordoñez 2007). در غرب سیبری و شمال قزاقستان جدایه‌هایی از قارچ عامل بیماری زنگ قهوه‌ای شناسایی گردیده که فاقد توانایی پرآزاری برای ژن‌های *Lr9* و *Lr24* بودند (Morgounov *et al*. 2007). در حالی که در ایران پرآزاری برای گیاهان حامل ژن *Lr24* وجود دارد که این مورد به اختلاف پاتوتایپی عامل بیماری در مناطق مختلف دنیا برمی‌گردد.

در سال ۱۳۸۶ پرآزاری برای ژن‌های *Lr9*، *Lr25* و *Lr28* و در سال ۱۳۸۷ برای ژن‌های *Lr9*، *Lr19*، *Lr25* و *Lr28* در تحقیقی توسط Niazmand *et al*. (2010) مشاهده نشد. در تحقیقی دیگر برروی ۲۰ جدایه زنگ قهوه‌ای گندم در ایران پرآزاری برای گیاهان حامل ژن‌های *Lr25*، *Lr19*، *Lr9* و *Lr28* نسبت به هیچ یک از جدایه‌ها مشاهده نگردید (Afshari 2008).

در بررسی خزانه‌های تله در هشت منطقه از کشور در طی چهار سال، بر روی گیاهان حامل ژن‌های *Lr2a*، *Lr2b*، *Lr19*، *Lr34* و ترکیب ژنی *Lr10/Lr27+/Lr31* پرآزاری مشاهده نشد (Dadrezaei *et al*. 2021). اختلاف در نتایج سالیانه می‌تواند به وجود اختلاف و تغییر در فراوانی پرآزاری جمعیت‌های عوامل بیماری‌زا غالب در منطقه و شرایط محیطی تاثیرگذار و همچنین معرفی ارقام جدید مقاوم و حذف ارقام قدیمی حساس در طی سالیان باشد. پرآزاری در جمعیت زنگ قهوه‌ای ایران در سال‌های مختلف با ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای موجود در ارقام تجاری ایران مرتبط است. ارقامی که حامل ژن‌های مقاومت جدید هستند پس از توسعه و کشت پس از چندی پرآزاری بر آن ژن‌ها به‌تدریج افزایش پیدا کند با حذف تدریجی این ارقام و آمدن رقم‌های جدید با ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای متفاوت الگوی پرآزاری جمعیت زنگ قهوه‌ای در آن منطقه تغییر می‌کند. همچنین مهاجرت و جهش از علل اساسی ایجاد نژادهای جدید و غیر بومی می‌باشد. در دهه گذشته، ورود نژادهای غیر بومی زنگ قهوه‌ای به آمریکای شمالی، اروپا، ایران و سایر مناطق جهان سبب آلودگی گندم در مناطق فوق به نژادهای جدید و تغییر ترکیب جمعیتی و الگوی پرآزاری شد (Kolmer 2001; Afshari *et al*. 2003; Dadrezaei *et al*. 2017; Kolmer 2019).

همچنین برخی از ژن‌های مقاومت به بیماری زنگ قهوه‌ای به شرایط دمایی حساس هستند و در دمای خاص بیشترین واکنش را نشان می‌دهند. رقم‌های گندم با ویژگی های مقاومت متفاوت در شرایط محیطی متفاوت (عمدتا دما و رطوبت) بر تنوع پرآزاری قارچ زنگ تأثیر می گذارند. بیان ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای به دما وابسته است (Dyck & Johnson 1983). به عنوان مثال، در مصر، لاین‌هایی با ژن‌های *Lr11*، *Lr12*، *Lr13*، *Lr14a*، *Lr18*، *Lr47*، *Lr50* و *Lr68* در دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد حساس و در دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد مقاوم بودند، در حالی که سایر ژن‌های *Lr* در دماهای مختلف واکنش ثابتی داشتند (El-Orabey *et al*. 2020). ژن‌های مقاومت گیاه بالغ (Adult Plant Resistance) اغلب به دما حساس هستند (Kaul & Shaner 1989). بنابراین در مطالعه پرآزاری و مقاومت باید به شرایط دمایی منطقه مورد کشت رقم

توجه شود.

جدول ۳. واکنش ژنوتیپ‌های خزانه تله نسبت به عامل بیماری زنگ قهوه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰.

Table 3. The reactions of trap nurseries genotypes to the agent of wheat leaf rust disease in cropping year 2022.

			Location					
No.	**Name/Pedigree**	**Lr gene/s**	**Dezful**	**Kelardasht**	**Sari**	**Moghan**	**Gorgan**	**Ahvaz**
1	Thatcher	*Lr22b*	20MS	30MS	0	40S	0	50S
2	TC*6/CENTENARIO (RL6003)	*Lr1*	30MS	30MS	20S	30S	20MS	40S
3	TC*6/WEBSTER (RL6016)	*Lr2a*	20MS	10MS	20MS	10MS	10MR	20MS
4	TC*6/CARINA(RL6019)	*Lr2b*	30MS	10MS	20MS	30MS	10MR	50MS
5	TC*6/LOROS(RL6047)	*Lr2c*	50MS	10MS	10S	40S	40MS	60S
6	TC*6/DEMOCRAT(RL6002)	*Lr3*	50MS	20MS	10S	20S	20MR	40MS
7	TC*6/ANIVERSARIO(RL6007)	*Lr3ka*	30MS	10MS	30S	30S	0	40S
8	BAGE/8*TC(RL6042)	*Lr3bg*	30MS	10MS	20MS	50S	0	40S
9	TRANSFER/6*TC(RL6010)	*Lr9*	30MS	5MS	10MR	50S	0	30MS
10	TC*6/EXCHANGE(RL6004)	*Lr10*	30MS	5MS	20S	40MSS	0	40MS
11	HUSSAR(W976)	*Lr11*	30MS	20MS	20S	30MS	0	40S
12	EXCHANGE/6*TC(RL6011)	*Lr12*	30MS	5MS	30S	30MSS	0	40MS
13	MANITUOU	*Lr13*	20MS	5MS	20MS	60MS	20MS	40MS
14	SELKIRK/6*TC(RL6013)	*Lr14a*	20MS	20MS	20S	60S	0	50S
15	TC*6/MARIA ESCOBAR(RL6006)	*Lr14b*	20MS	5MS	30S	40MSS	10MR	20MS
16	TC*6/KENYA1483(RL6052)	*Lr15*	50MS	TMS	30S	70S	20MS	30MS
17	TC*6/EXCHANGE(RL6005)	*Lr16*	50MS	20MS	40S	30MSS	10MR	40MS
18	KLEIN LUCERO/6*TC(RL6008)	*Lr17*	10MS	20MS	30S	25MS	10MS	30S
19	TC*7/AFRICA43(RL6009)	*Lr18*	5MR	5MS	30S	30MR	0	30MS
20	TC*7/TR(RL6040)	*Lr19*	0	0	20MS	0	10MS	10R
21	THEW(W203)	*Lr20*	10MS	0	20S	20MR	0	30MS
22	TC*6/RL5406(RL6043)	*Lr21*	10MS	0	20MS	TMS	0	40MS
23	TC*6/RL5404(RL6044)	*Lr22a*	10MS	5MS	20S	5MS	0	30MS
24	LEE310/6*TC(RL6012)	*Lr23*	50MS	TMS	30S	15MS	0	60S
25	TC*6/AGENT(RL6064)	*Lr24*	50MS	5MS	50S	40MSS	20MS	50S
26	TC*?/TRANSEC	*Lr25*	70S	10MS	50S	50S	40MS	40S
27	TC*6/ST-1-25(RL6078)	*Lr26*	50S	30MS	50S	50S	50MS	40S
28	GATCHER(W3201)	*Lr10, Lr27+ Lr31*	50MS	0	0	15MS	20MS	20MS
29	CS2D-2M	*Lr28*	50MS	40MS	50S	45S	20MS	30S
30	TC*6/CS7AG#11(RL6080)	*Lr29*	10MS	30MR	0	20MR	30MS	10MR
31	TC*6/TERENZ10(RL6049)	*Lr30*	20MS	40MS	30S	40MSS	50S	40S
32	TCLR32(RL5497)	*Lr32*	30MS	10MS	20S	45MSS	20MS	40S
33	TC*6/PI58548(RL6057)	*Lr33*	30MS	5MS	30S	30S	10MR	40S
34	TC*6/PI58548(RL6058)	*Lr34*	10MS	10MS	0	40MS	0	10MS
35	RL5711	*Lr35*	50S	0	40S	45S	70S	40S
36	E84018(NEP/AE.SPELTOIDES.2-9-w…	*Lr36*	5S	20MS	30S	50S	10MS	40S
37	TC*6/VPM(RL6081)	*Lr37*	20MS	0	0	20S	10MR	40MS
38	TC*6//CARINA(RL6051)	*Lrb*	30MS	5MS	0	40S	20MS	40S
39	WL711	*Lr13*	10MS	5MS	0	50S	10MR	30S
40	Thatcher	-	30MS	20MS	40S	40S	20MS	40S
41	Bolany	-	90S	70S	60S	80S	60S	100S

از دلایل دیگر تفاوت در مشاهده پرآزاری روی ژن‌های مقاومت به بیماری در سال‌های مختلف در ایران ممکن است تفاوت در تعداد و محل‌های نمونه‌برداری قارچ عامل بیماری باشد. لازم است نمونه‌برداری هر ساله و مداوم انجام شده و هر سال تعداد نمونه‌های کافی از هر محل موردنظر جمع‌آوری شود. همچنین در مقایسه پرآزاری در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل به این نکته نیز توجه داشت که ژن‌های مقاومت *Lr12*، *Lr13*، *Lr22b*، *Lr22a*، *Lr34*، *Lr35* و *Lr37* ژن‌های مرحله بلوغ یا مرحله کامل گیاه (APR) هستند و واکنش این لاین‌ها باید در مرحله گیاه کامل و پس از ظهور برگ پرچم بررسی شوند، این ژن‌ها یا در مرحله گیاهچه‌ای بیان نمی‌شوند یا بیان جزیی دارند، لذا در هنگام تجزیه نتایج باید علاوه بر شرایط محیطی (دما و رطوبت)، به مرحله گیاه در زمان ارزیابی نیز توجه کرد (McIntosh *et al*. 2014; Huerta-Espino *et al*. 2020; Kumar *et al*. 2022).

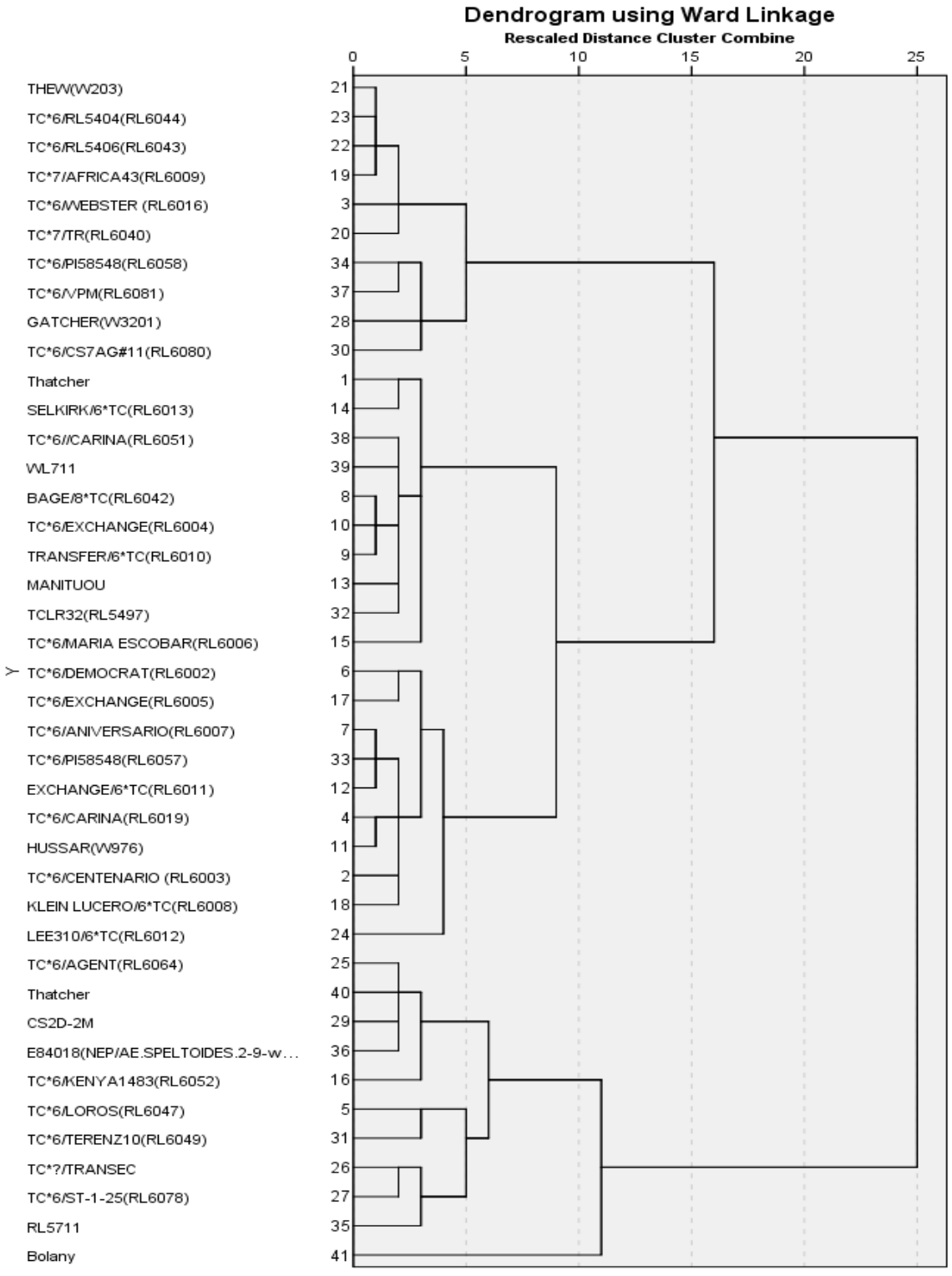
جدول ۴. واکنش ژنوتیپ‌های خزانه‌ی تله نسبت به عامل بیماری زنگ قهوه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

Table 4. The reactions of trap nurseries genotypes to the agent of wheat leaf rust disease in cropping year 2023.

			Location						
No.	**Name/Pedigree**	**Lr gene/s**	**Dezful**	**Ahvaz**	**Gorgan**	**Sari**	**Kelardasht**	**Moghan**	**Ardabil**
1	Thatcher	*Lr22b*	50MS	80S	70S	80S	10MS	90S	30S
2	TC*6/CENTENARIO (RL6003)	*Lr1*	60S	90S	80S	30S	10MS	70S	20S
3	TC*6/WEBSTER (RL6016)	*Lr2a*	40MS	70S	50S	20MR	0	20MR	20MS
4	TC*6/CARINA(RL6019)	*Lr2b*	60S	70S	40S	15MR	R	30MR	10MS
5	TC*6/LOROS(RL6047)	*Lr2c*	70S	70S	60S	5MR	30MS	90S	10MS
6	TC*6/DEMOCRAT(RL6002)	*Lr3*	50MS	70S	80S	10MR	20MS	60S	10S
7	TC*6/ANIVERSARIO(RL6007)	*Lr3ka*	60S	70S	70S	5MR	5MS	50S	20MS
8	BAGE/8*TC(RL6042)	*Lr3bg*	50-60S	50S	70S	0	0	70S	40S
9	TRANSFER/6*TC(RL6010)	*Lr9*	R	R	0	0	R	10MR	10R
10	TC*6/EXCHANGE(RL6004)	*Lr10*	50-60S	90S	100S	5MS	15MS	90S	20S
11	HUSSAR(W976)	*Lr11*	60S	70S	70S	5MS	5MS	80S	20S
12	EXCHANGE/6*TC(RL6011)	*Lr12*	60S	40MS	100S	5MR	20MS	80S	20MR
13	MANITUOU	*Lr13*	70S	40MS	70S	30MS	5MS	60S	30S
14	SELKIRK/6*TC(RL6013)	*Lr14a*	60MS	60S	70S	10MR	5MS	50S	20S
15	TC*6/MARIA ESCOBAR(RL6006)	*Lr14b*	70S	70S	60S	15MR	20MS	60S	20MS
16	TC*6/KENYA1483(RL6052)	*Lr15*	60-70S	70S	80S	5MR	5MS	70S	20S
17	TC*6/EXCHANGE(RL6005)	*Lr16*	40MS	50MS	30S	5MR	20MS	30MS	20MS
18	KLEIN LUCERO/6*TC(RL6008)	*Lr17*	40MS	30MS	20S	5MR	20MS	20MR	20S
19	TC*7/AFRICA43(RL6009)	*Lr18*	R	30MS	20MS	5MS	5MS	20MR	20MS
20	TC*7/TR(RL6040)	*Lr19*	0	30MR	30MS	0	0	5MR	10MR
21	THEW(W203)	*Lr20*	R	50MS	40S	5MR	0	15MR	20MS
22	TC*6/RL5406(RL6043)	*Lr21*	R	50MS	0	5MS	20MS	20MS	30S
23	TC*6/RL5404(RL6044)	*Lr22a*	TMR	40MR	0	5MR	R	20MR	20MS
24	LEE310/6*TC(RL6012)	*Lr23*	50S	70S	80S	5MS	5MS	30MS	30MS
25	TC*6/AGENT(RL6064)	*Lr24*	70S	90S	70S	30MS	20MS	40MS	20S
26	TC*?/TRANSEC	*Lr25*	70S	90S	50S	20MS	30MS	40MS	20S
27	TC*6/ST-1-25(RL6078)	*Lr26*	70S	70S	50S	15MR	10MS	50S	20R
28	GATCHER(W3201)	*Lr10, Lr27+ Lr31*	10MS	40MS	50S	5MR	0	20MR	20MS
29	CS2D-2M	*Lr28*	50S	40MS	50S	30MS	10MS	30MS	20R
30	TC*6/CS7AG#11(RL6080)	*Lr29*	20MS	40MR	20MS	5MR	30MS	20MR	20R
31	TC*6/TERENZ10(RL6049)	*Lr30*	20MS	40MS	40S	20MS	30MS	40MS	20MS
32	TCLR32(RL5497)	*Lr32*	30MS	60MS	60S	5MR	30MS	50MS	40S
33	TC*6/PI58548(RL6057)	*Lr33*	40MS	50MS	60S	15MR	30MS	30MR	30S
34	TC*6/PI58548(RL6058)	*Lr34*	10MS	30MR	50S	5MR	10MS	20MR	20MS
35	RL5711	*Lr35*	50MS	90S	100S	5MR	10MR	50MS	30S
36	E84018(NEP/AE.SPELTOIDES.2-9-w…	*Lr36*	50S	90S	60S	5MR	40MS	60S	30S
37	TC*6/VPM(RL6081)	*Lr37*	40MS	70S	70S	10MS	10MR	70S	30S
38	TC*6//CARINA(RL6051)	*Lrb*	50S	90S	60S	30MS	10MS	50S	20MS
39	WL711	*Lr13*	40MS	90S	50S	5MR	0	40S	20MS
40	Thatcher	-	50MS	90S	80S	5MS	10MS	80S	20MR
41	Bolany		90S	100S	100S	10MS	30MS	100S	30S

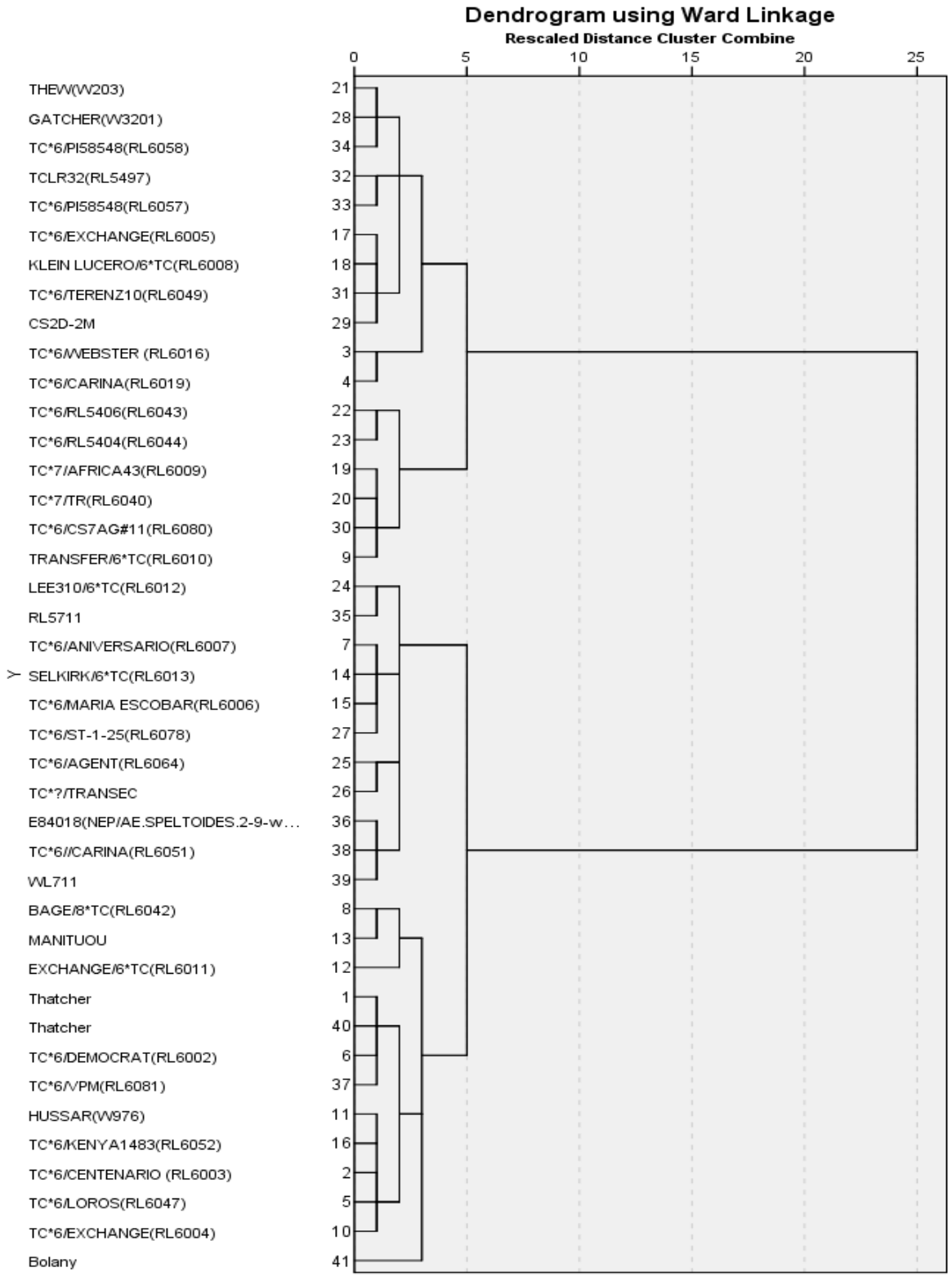
0: Immune, R: Resistant, MR: Moderately Resistant, MS: Moderately Susceptible, S: Susceptible.

به‌دلیل تنوع بالای نژادها در ایران تنها تعداد کمی از ژن‌های مقاومت، به تمام پاتوتیپ‌های موجود در کشور مقاومت خوبی نشان دادند راهبردهای نامناسب مانند استفاده از مقاومت تک‌ژنی باعث گسترش و تثبیت فراوانی این نژادها می‌گردد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد اگر در مناطقی سطح زیر کشت ارقام حامل ژن بخصوصی افزایش پیدا کند با تغییر ناگهانی در حساسیت در ارقام حامل تک‌ژن، مقاومت عمودی رخ می‌دهد (Dadrezaei *et al.* 2023).



شکل ۱. تجزیه خوشه‌ای لاین‌های افتراقی نسبت به بیمارگر زنگ قهوه‌ای مناطق دزفول، اهواز، گرگان، ساری، کلاردشت و مغان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱.

Figure 1. Cluster analysis of differential lines with respect to brown rust pathogen in Dezful, Ahvaz, Gorgan, Sari, Kalardasht and Moghan regions in the crop year 2022.



شکل ۲. تجزیه خوشه‌ای لاین‌های افتراقی نسبت به بیمارگر زنگ قهوه‌ای مناطق دزفول، اهواز، گرگان، ساری، اردبیل، کلاردشت و مغان در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

Figure 2. Cluster analysis of differential lines with respect to the brown rust pathogen in Dezful, Ahvaz, Gorgan, Sari, Ardabil, Kalardasht and Moghan regions in the crop year 2023.

تجمع ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه کامل در افزایش مقاومت رقم‌ها مؤثر است (Mcintosh *et al.* 1988). حضور ژن‌های مقاومت *Lr13* و *Lr34* در اکثر رقم‌ها و مواد ژنتیکی معرفی شده توسط سیمیت که به شکل مستقیم و یا به‌عنوان منابع مقاومت در ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند، باعث شده که خسارت این بیماری در ایران قابل توجه نباشد (Afshari 2000؛ Singh 1993). فراوانی قطعات ژنی *Sr31/Lr26/Yr9* و *Lr34/Yr18/Pm36* در ژنوتیپ‌های گندم ایران نشان از تثبیت این آلل در میان گندم‌ها دارد (Dadrezaei & Nazari 2015). لذا از این منظر برنامه‌های اصلاحی رقم‌های مختلف گندم برای مقاومت به زنگ‌ها در ایران موفقیت آمیز بوده است و می‌توان یکی از دلایل مهم کنترل همه‌گیری زنگ قهوه‌ای در کنار ارزیابی مستمر و مؤثر ژنوتیپ‌های بخش غلات نسبت به این بیماری و شناسایی منابع بالقوه مقاومت، در مناطق و سال‌های مختلف با پاتوتایپ‌های متنوع باشد که در انتقال ژن و یا ژن‌های مقاومت زنگ قهوه‌ای به رقم‌های زراعی همکاری مؤثری داشتند. لذا به‌نژادگران همواره در برنامه معرفی ارقام جدید باید ترکیبی از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای موثر با ژن‌های مقاومت گیاه کامل را در اهداف خود داشته باشند.

References

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

Afshari F, 2008. Identification of virulence factors of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust in Iran. *Proceedings of 11th international wheat genetic symposium*, Vol 3. Sydney University Press, Sydney, Australia. Pp. 709–711..

Afshari F, Torabi M, Malihipour A, 2003. Appearance of a new race of *puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in Iran. *Seed & Plant Journal* 19-4: 543–546.

Bamdadian A, 1973. Physiologic races of *Puccinia recondita* in Iran (1968-1972). *Cereal Rust Bulletin* 1: 45–48.

Dadrezaei ST, Dehghan MA, Safavi SA, Dalvand M, 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: 1–13 (In Persian with English abstract).

Dadrezaei ST, Dehghan MA, Safavi SA, Dalvand M, Shahbazi K, *et al.*, 2021. Study of virulence factors of causal agent of wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in Iran during 2017-2021. *Seed & Plant Journal* 37: 149-169 (In Persian with English abstract).

Dadrezaei ST, Delfan S, Allahassani E, 2022. Identification of the pathotypes and physiologic races of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust in Iran. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11: 1–15 (In Persian with English abstract).

Dadrezaei ST, Mohammadi Goltappeh E, Afshari F, Nazari K, 2012. Pathotypes and physiologic races of *Puccinia triticina* Erik's. The causal agent of wheat leaf rust and their distribution in Iran in 2009 and 2010. *Seed & Plant Improvement Journal* 28(1): 685–715 (In Persian with English abstract).

Dadrezaei ST, Nazari K, 2015. Detection of wheat rust resistance genes in some of the Iranian wheat genotypes by molecular markers. *Seed & Plant Improvement Journal* 31(1): 163–187 (In Persian with English abstract).

Dadrezaei ST, Nazari K, Afshari F, Torabi M, 2017. Genetic Diversity and Migration of Wheat Leaf Rust Populations in Iran Based on Virulence and Molecular Data. *Seed & Plant Improvement Journal* 33 (1): 401–425 (In Persian with English abstract).

Dyck PL, Johnson R, 1983. Temperature sensitivity of genes for resistance in wheat to *Puccinia recondita. Canadian Journal of Plant Pathology* 5: 229–234.

Dyck PL, Samborski DJ, 1968. Genetic of resistance to leaf rust in the common wheat varieties, Webster, Loros Brevit, Carina, Malakof and Centenario. *Canadian Journal of Genetics & Cytology* 10: 7–17.

El-Orabey W, Shaheen D, Mabrouk O, Elkot A, Esmail S, 2020. Effect of temperature on monogenic lines of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Egyptian Journal of Agronomy* 42: 263–277.

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 centre of diversity in the near-Himalayan region. *Plant Pathology* 65: 402–411.

Huerta-Espino J, Singh R, Crespo-Herrera LA,

Villaseñor-Mir HE, Rodriguez-Garcia MF, *et al.*, 2020. Adult plant slow rusting genes confer high levels of resistance to rusts in bread wheat cultivars from Mexico. *Frontiers in Plant Science* 11: 1–15.

Huerta-Espino J, Singh RP, Germa´n, S, McCallum BD, Park RF, *et al.*, 2011. Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica* 179:143–160.

Johnston CO, Heyne EG, 1964. Wichita back- cross lines for differential hosts inidentifying physiologic races of *Puccinia recondita*. *Phytopathology* 54: 385–388.

Kaul K, Shaner G, 1989. Effect of temperature on adult-plant resistance to leaf rust in wheat. *Phytopathology* 79: 391–394.

Kolmer JA, 2013. Leaf rust of wheat: pathogen biology, variation and host resistance. *Forests* 4 (1): 70–84.

Kolmer JA, 2019. Virulence of *Puccinia triticina*, the wheat leaf rust fungus, in the United States in 2017. *Plant Disease* 103: 2113–2120.

Kolmer JA, 2001. Molecular polymorphism and virulence phenotypes of the wheat leaf rust fungus *Puccinia triticina* in Canada. *Canadian Journal of Botany* 79: 917–926.

Kolmer JA, Ordoñez ME, 2007. Genetic differentiation of *Puccinia triticina* populations in Central Asia and the Caucasus. *Phytopathology* 97:1141–1149.

Kumar K, Jan I, Saripalli G, Sharma PK, Mir RR, Balyan HS, Gupta PK, 2022. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics*. 13: 816057.

Mahdian S, Torabi M, Alizadeh A, 1999. Avirulence.virulence factors in *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* isolates from different parts of Iran. *Seed & Plant* 15: 56–67 (In Persian with English abstract).

Malihipour A, Najafian G, 2023. Evaluation of the moderate agro-climate zone elite wheat lines of Iran in terms of reaction to stem rust. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 12 (4): 425–437.

McIntosh RA, 1988. The role of specific genes in breeding for durable stem rust resistance in wheat and triticale. Simmonds, NW, Rajaram, S. (Eds). Breeding strategies for resistance to rusts of wheat. CIMMYT, Mexico. D.F. Pp. 1–9.

McIntosh RA, Brown GN, 1997. Anticipatory breeding for resistance to rust diseases in wheat. *Annual Review of Phytopathology* 35: 311–326.

McIntosh RA, Dubcovsky J, Rogers WJ, Morris C, Appels R, *et al.*, 2014. Catalogue of gene Symbols for Wheat: 2013-2014 Suplement. http://maswheat.ucdavis.edu/CGSW/2013-Supplement.pd.

Morgounov A, Rosseeva L, Koyshibayev M, 2007. Leaf rust of spring wheat in Northern Kazakhstan and Siberia: Incidence, virulence, and breeding for resistance. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 847–853.

Niazmand AR, Afshari F, Abbasi M, Rezaee S, 2010. Study on pathotypes diversity and virulence factors of *Puccinia triticina* Eriksson, the causal agent of wheat brown rust in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology* 46: 187–202 (In Persian with English abstract).

Ordoñez ME, Germán SE, Kolmer JA, 2010. Genetic differentiation within the *Puccinia triticina* population in South America and comparison with the North American population suggests common ancestry and intercontinental migration. *Phytopathology* 100: 376–383.

Park RF, Burdon JJ, McIntosh RA, 1995. Studies on the origin, spread, and evolution of an important group of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* pathotypes in Australia. *European Journal of Plant Pathology* 101: 613–622.

Park RF, Felsenstein FG, 1995. Physiologic specialization and pathotype distribution of *Puccinia recondita* in Western Europe. *Plant Pathology* 47: 157–164.

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

Qureshi N, Bariana H, Kolmer JA, Miah H. Bansal U, 2017. Genetic and Molecular Characterization of Leaf Rust Resistance in Two Durum Wheat Landraces. *Phytopathology* 107:1381–1387.

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

Singh RP, 1993. Resistance to leaf rust in 26 Mexican

wheat cultivars. *Crop Science* 33:633–637.

Torabi M, Mardoukhi V, Froutan A, Aliramaei M, Dadrezaie ST, *et al.*, 2003. Virulence genes of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, the causal agent of wheat leaf rust in some regions of Iran during 1995-1999. *Seed & Plant Improvement Journal* 18: 432–449 (In Persian with English abstract).

Torabi M, Nazari K, Afshari F, 2001. Genetic of pathogenicity of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, the causal agent of leaf rust of wheat, *Iranian Journal of Agriculture Science* 32: 625–635 (In Persian with English abstract).

Zhang L, Shi C, Li L, Li M, Meng Q, *et al.*, 2020. Race and virulence analysis of *Puccinia triticina* in China in 2014 and 2015. *Plant Disease 104*: 455-4.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons .org/licenses/by-nc/2.0/)