

بررسی واکنش ژنوتیپ‌های پیشرفته و تجاری گندم ایران نسبت به زنگ قهوه‌ای در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل

سید طه دادرضائی^۱✉، محمدعلی دهقان^۲، صفرعلی صفوی^۳، محمد دالوند^۴، کمال شهبازی^۵

^۱بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ^۲بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. ^۳بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. ^۴بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفا آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران. ^۵بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس آباد، استان اردبیل، ایران. ✉Tahareza2000@yahoo.com

پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۳

بازنگری: ۱۴۰۰/۸/۱۴

دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۴

چکیده

زنگ‌ها به‌عنوان بیماری‌های مهم گندم، همواره خسارت اقتصادی قابل توجهی در اکثر مناطق گندم‌کاری جهان وارد می‌کنند. کشت ارقام مقاوم مؤثرترین و کم‌هزینه‌ترین روش کنترل آن‌ها می‌باشد. در پژوهش حاضر واکنش ۱۰۱ ژنوتیپ پیشرفته و تجاری گندم ایران در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. بررسی در مرحله گیاهچه با استفاده از چهار پاتوتیپ چارج عامل بیماری با فرمول پرآزاری/ناپرازاری مشخص در شرایط گلخانه در کرج و بررسی در گیاه کامل طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در اردبیل و مغان در شرایط آلودگی طبیعی و در دزفول و گرگان در شرایط آلودگی مصنوعی مزرعه انجام گردید. نتایج بررسی‌های مزرعه‌ای نشان داد که ۶۳ درصد ژنوتیپ‌های گندم اقلیم جنوب، ۹۶ درصد از ژنوتیپ‌های گندم اقلیم شمال، ۲۶ درصد از ژنوتیپ‌های گندم اقلیم سرد، ۵۷ درصد از ژنوتیپ‌های گندم اقلیم معتدل، ۱۰ درصد از ژنوتیپ‌های گندم شوری و تمامی ژنوتیپ‌های گندم دوروم از مقاومت کافی برخوردار بودند. بر اساس نتایج آزمایشات انجام شده در مرحله گیاهچه ۳۳ درصد ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در این مرحله نسبت به چهار پاتوتیپ چارج عامل بیماری مقاوم بودند. در این پژوهش پنج رقم گندم تجاری افلاک، شوش، سیروان، زرینه و احسان در شرایط مزرعه مقاومت، اما در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به چهار پاتوتیپ زنگ قهوه‌ای واکنش حساسیت نشان دادند و لذا احتمالاً این ارقام دارای ژن یا ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل باشند.

کلمات کلیدی: پاتوتیپ، زنگ برگی گندم، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل، مقاومت تدریجی

Resistance evaluation of advanced and commercial genotypes of Iranian wheat to leaf rust at seedling and adult plant stages

Seyed Taha Dadrezaei¹✉, Mohammad Ali Dehghan², Safar Ali Safavi³, Mohammad Dalvand⁴, Kamal Shahbazi⁵

¹Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. ²Seed and Plant Improvement Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. ³Seed and Plant Improvement Research Department, Ardebil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardebil, Iran. ⁴Seed and Plant Improvement Research Department, Safiabad Dezful Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Dezful, Iran. ⁵Seed and Plant Improvement Research Department, Ardebil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Parsabad, Ardabil, Iran. ✉Tahareza2000@yahoo.com

Received: 16 Oct 2021 Revised: 5 Nov 2021 Accepted: 4 Dec 2021

Abstract

Rusts have always been considered as important diseases of wheat, have significant economic losses worldwide and cultivation of resistant cultivars is the most effective way to control the disease. This research project was conducted in order to evaluate reaction of 101 advanced and commercial wheat genotypes of Iran to wheat leaf rust at seedling and adult plant stages with artificial inoculation. These genotypes were evaluated in two cropping years of 2020 and 2021 in Dezful, Gorgan, Ardabil and Moghan under field conditions. In Karaj, resistance of genotypes was evaluated at seedling stage and under greenhouse conditions using four wheat leaf rust pathotypes with a specific virulence/avirulence formula. According to the results of the present study, 63 percent of the genotypes of the South warm and dry zone, 96 percent of the genotypes of the North warm and humid zone, 26 percent of the genotypes of the cold zone, 57 percent of the genotypes of the moderate zone, 10 percent of the genotypes of the salinity program, and all durum wheat genotypes responded acceptable level of resistance. Under seedling conditions, 33 percent of the genotypes were resistant to four wheat leaf rust pathotypes. In this study, five cultivars Aflak, Shoush, Sirvan, Zarrineh and Ehsan were resistant in field conditions but reacted susceptibility to four leaf rust pathotypes at the seedling stage. It seems that these cultivars probably have adult plant resistance gene or genes.

Keywords: Adult-plant resistance, Pathotype, Seedling resistance, Slow rusting, Wheat leaf rust

How to cite:

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 (4): 1-13.

مقدمه

دیواره‌های سلولی در گیاه می‌گردند (Bolton *et al.* 2008). مقاومت گیاه کامل که در مراحل بعد از مرحله گیاهچه‌ای ایجاد می‌شود، اغلب نژاد غیراختصاصی (Non-race-specific) عمل کرده و از پایداری بیشتری برخوردار است (Line 2002). این نوع مقاومت در مرحله گیاه کامل، باعث ایجاد مقاومت نسبی در برابر کلیه نژادهای عامل بیماری شده و به‌طور معمول زنگ-زدگی تدریجی (Slow rusting) در گیاه را به‌دنبال دارد (Huerta-Espino *et al.* 2020; Lagudah 2010). اثرات این ژن‌ها به‌تنهایی، متوسط است، اما در ترکیب ژنی با ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای یا با سایر ژن‌های مقاومت گیاه کامل باعث ایجاد اثرات افزایشی می‌شوند و در نتیجه سطوح بالایی از مقاومت پایدار را ایجاد می‌کنند. تجمع ژن‌های مقاومت گیاه کامل در یک رقم حتی می‌تواند منجر به ایجاد مصونیت تقریبی (near-immunity) در آن شود (Singh *et al.* 2000). تاکنون ۷۹ ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای در گندم شناسایی شده است که به استثنای ژن‌های مقاومت Lr_{34} ، Lr_{46} ، Lr_{67} ، Lr_{68} ، Lr_{74} ، Lr_{75} و Lr_{77} از میان آن‌ها که از نوع ژن‌های مقاومت گیاه کامل هستند، مابقی جزو ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای به شمار می‌روند (Qureshi 2017; McIntosh *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2020).

عامل بیماری زنگ قهوه‌ای دارای نژادهای فیزیولوژیک مختلفی می‌باشد که طی زمان با تغییر پرآزاری توانایی آلوده سازی ارقام مختلف را کسب می‌نمایند. همچنین، ساختار نژادی جمعیت‌های زنگ پیچیده بوده و به علت سطح بالای جهش، بسیار تغییرپذیر است. McIntosh (1988) معتقد است که اصلاح گندم برای ایجاد مقاومت به زنگ‌ها نسبتاً ساده است ولی تغییر پذیری عامل بیماری اصلاح مقاومت را مشکل می‌کند. به علت سطح بالای تنوع در پرآزاری در جدایه‌های مختلف زنگ قهوه‌ای، مقاومت نژاد اختصاصی در کل پایدار نبوده و ظهور پرآزاری برای گیاهان حامل ژن‌های Lr_{26} ، Lr_{24} ، Lr_{18} ، Lr_{11} ، Lr_9 و Lr_3 گزارش شده است (Kolmer 2005).

در این پژوهش واکنش مقاومت ژنوتیپ‌های پیشرفته و تجاری گندم ایران نسبت به نژادهای غالب زنگ قهوه‌ای گندم در مرحله گیاه کامل و مرحله گیاهچه‌ای بررسی شد. نتایج این تحقیق با توجه به تجزیه و تحلیل مقاومت ژنوتیپ‌ها و معرفی منابع مقاومت پایدار می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی گندم بخش تحقیقات غلات کشور مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گیرد.

زنگ‌ها از مهم‌ترین عوامل تنش‌های زنده گندم در مقیاس جهانی بوده و بیشترین خسارت را در طول تاریخ به این محصول وارد کرده‌اند (Dadrezai *et al.* 2018). در این میان، زنگ قهوه‌ای گندم به لحاظ وسعت پراکندگی و میزان خسارت در دنیا، مهم‌ترین بیماری گندم می‌باشد (Huerta-Espino *et al.* 2011). در ایران این بیماری از نظر اهمیت پس از بیماری زنگ زرد قرار دارد (Torabi *et al.* 2003) اما در برخی شرایط یا برخی مناطق کشور (مانند خوزستان) اهمیت آن بیشتر از زنگ زرد می‌باشد. در سال‌هایی که بیماری به‌صورت همه‌گیر ظاهر شده است، باعث کاهش چشم‌گیر محصول در مناطق جنوب، غرب و شمال کشور شده است (Dadrezai & Torabi 2016).

بر اساس مطالعه Dadrezai *et al.* (2018) میانگین کاهش عملکرد گندم نسبت به زنگ قهوه‌ای در ایران ۲۵ درصد تعیین گردید و دامنه خسارت وارده به ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به زنگ قهوه‌ای بین ۶ الی ۴۶ درصد متغیر بود. اگرچه زنگ قهوه‌ای را می‌توان با قارچ‌کش‌ها کنترل کرد اما استفاده از ارقام مقاوم مؤثرترین، اقتصادی‌ترین و از نظر زیست‌محیطی ایمن‌ترین روش برای مدیریت این بیماری به‌شمار می‌رود. اصلاح مقاومت ارقام گندم بیشترین تأثیر و راهبرد پیشگیرانه در کاهش این خسارت‌ها است.

بیش از ۱۵۰ ژن مقاومت به زنگ‌ها در گندم شناسایی شده است و بسیاری از آنها از خویشاوندان گندم منشا گرفته‌اند (Bolton *et al.* 2008; Lagudah 2010). حدود ۸۰ ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای شناسایی شده است (McIntosh *et al.* 2017; Zhang *et al.* 2020). مقاومت به زنگ‌ها در گندم و از جمله به زنگ قهوه‌ای به دو دسته مقاومت گیاهچه‌ای (Seedling resistance) و مقاومت گیاه کامل (Adult plant resistance) تقسیم می‌شود (Chen 2005). از ویژگی‌های مقاومت گیاهچه‌ای این است که اغلب نژاد اختصاصی (Race specific) بوده، در تمام مراحل رشد گیاه بیان می‌شود 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 (Jin *et al.* 2010; Kolmer, 2005). همچنین، اغلب ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای منجر به بروز واکنش فوق حساسیت (Hypersensitive reaction) و یا لیگنینه شدن

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این تحقیق، ۱۰۱ ژنوتیپ گندم پیشرفته و تجاری مربوط به چهار اقلیم کشور ایران برای ارزیابی مقاومت در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای در شرایط آلودگی مصنوعی مزرعه و گلخانه مورد بررسی قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها شامل ۲۳ ژنوتیپ اقلیم گرم و مرطوب شمال (شماره ۱ الی ۲۳)، ۱۶ ژنوتیپ از اقلیم گرم جنوب (شماره ۲۴ الی ۳۹)، ۱۴ ژنوتیپ از اقلیم معتدل (شماره ۴۰ الی ۵۳)، ۱۹ ژنوتیپ از اقلیم سرد (شماره ۵۴ الی ۷۲)، ۱۸ ژنوتیپ متحمل به شوری (شماره ۷۳ الی ۹۰) و ژنوتیپ‌های گندم دوروم ۱۱ ژنوتیپ (شماره ۹۱ الی ۱۰۱) به همراه شاهد حساس بولانی (شماره ۱۰۲) بودند (جدول شماره ۱).

ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای در شرایط گلخانه

ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای در شرایط کنترل شده در گلخانه بخش تحقیقات غلات کرج، با استفاده از چهار پاتوتیپ زنگ قهوه‌ای (LrG32)، (Lr-94-5)، (Lr-98-14) و (Lr-00-3) به ترتیب جمع‌آوری شده از گرگان، خرمشهر، صفی‌آباد دزفول و پارس‌آباد مغان انجام گردید. روند خالص‌سازی و تکثیر پاتوتیپ‌ها، مایه‌زنی بر روی ژنوتیپ‌های مورد بررسی و یادداشت‌برداری واکنش آنها نسبت به هر کدام از پاتوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط گلخانه طی ماه‌های مهر ۱۳۹۹ الی اردیبهشت سال ۱۴۰۰ انجام شد. برای انجام آزمایشات گلخانه‌ای ارقام و لاین‌های مورد بررسی در گلدان‌هایی به قطر ۱۵ سانتی‌متر حاوی خاک، ماسه و پیت‌ماس کشت شدند. سپس گیاهچه‌های دو برگی به کمک پمپ باد و نازل مخصوص با اسپور قارچ عامل بیماری زنگ قهوه‌ای معلق شده در حامل روغن معدنی سالترویل مایه‌زنی شدند. کلیه گلدان‌ها ابتدا در شرایط ۱۸-۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی اشباع و تاریکی قرار داده و پس از ۲۴ ساعت به گلخانه‌های زنگ قهوه‌ای با دمای ۲۲-۲۴ درجه سلسیوس منتقل شدند. گلدان‌ها تا زمان ارزیابی نمونه‌ها به صورت جداگانه زیر سرپوش شفاف کریستالی در دمای فوق به مدت ۱۶ ساعت نور ۱۶۰۰۰ لوکس و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند.

ارزیابی مرحله گیاهچه‌ای ۱۲ الی ۱۴ روز بعد از مایه‌زنی گیاهچه‌ها انجام شد و به این ترتیب، واکنش تیپ‌های آلودگی ژنوتیپ‌ها بر اساس روش McIntosh *et al.* (1995) یادداشت‌برداری

شد. شرح علائم و تیپ‌های آلودگی روش مورد استفاده عبارت بودند از: (۰) = مصون - بدون هیچ‌گونه علائم، (۱) = تقریباً مصون - ظهور لکه‌های فوق حساسیت به صورت نکروز و یا کلروز بدون اسپور، ۱ = مقاوم - جوش‌های کوچک همراه با نکروز، ۲ = نیمه مقاوم - جوش‌های کوچک تا متوسط همراه با کلروز و نکروز، ۳ = حساس - جوش‌های متوسط گاهی همراه با کلروز، ۴ = خیلی حساس - جوش‌های بزرگ بدون کلروز و نکروز، X = هتروژنوس - ظهور جوش‌های با اندازه‌های مختلف روی پهنک برگ به‌طور پراکنده، Y = هتروژنوس - ظهور جوش‌هایی با اندازه‌های مختلف بر روی قسمت قاعده برگ، Z = هتروژنوس - ظهور جوش‌هایی با اندازه‌های مختلف بر روی قسمت انتهایی نوک برگ.

علاوه بر علائم و تعاریف بالا، $N =$ نکروز بیش از حد معمول هر کدام از تیپ‌های آلودگی، $- =$ ظهور کمتر از معمول هر کدام از تیپ‌های آلودگی، $+ =$ ظهور بیشتر از معمول هر کدام از تیپ‌های آلودگی، $C =$ کلروز بیش از حد معمول هر کدام از تیپ‌های آلودگی بکار می‌رود. تیپ‌های آلودگی ۰ تا ۲+ و نیز تیپ‌های هتروژنوس X و Y و Z به‌عنوان مقاوم و تیپ آلودگی ۳-۴ به‌عنوان حساس در نظر گرفته شدند.

ارزیابی مقاومت گیاه کامل در شرایط مزرعه

برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه و در شرایط همه‌گیری بیماری زنگ قهوه‌ای، ارقام و لاین‌ها (جدول ۱) در اوایل آذر سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول، عراقی محله گرگان، آلاروق اردبیل و پارس‌آباد مغان کشت شدند. هر ژنوتیپ آزمایشی بر روی دو خط یک متری و روی یک پشته با فاصله یک متر کشت و پس از هر ده رقم، رقم حساس بولانی به‌عنوان شاهد کشت شد. این آزمایش در شرایط سیستم آبیاری افشانه (Mist irrigation) و آبیاری تکمیلی کشت و ارزیابی شد. در اطراف خزانه آزمایشی نیز رقم بولانی به‌عنوان تکثیرکننده و پخش‌کننده اوردیوسپورها کشت گردید. تکثیر انبوه زادمایه بیماری زنگ قهوه‌ای در گلخانه‌ی بخش تحقیقات غلات کرج، با استفاده از نمونه‌های برگ آلوده به زنگ قهوه‌ای جمع‌آوری شده از مزارع استان‌های گلستان و خوزستان انجام گردید. نمونه‌ها در هوای آزاد در حرارت ۱۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد خشک و در یخچال نگهداری شدند. نمونه‌های برگی در آبان ماه در شرایط رطوبت اشباع و زیر نور آفتاب تحریک به

جوش‌های ریز و پراکنده.

MR = نیمه مقاوم: ظهور جوش‌های کوچک زنگ که به‌وسیله لکه‌های نکروتیک و گاهی کلروتیک احاطه شده‌اند.

MS = نیمه‌حساس: ظهور جوش‌های به‌اندازه متوسط، بدون لکه‌های نکروتیک، گاهی همراه با لکه‌های کلروتیک.

S = حساس: وجود جوش‌های بزرگ زنگ به‌مقدار فراوان و بدون لکه‌های کلروتیک، گاهی همراه با این لکه‌ها.

داده‌های مربوط به شدت 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) محاسبه شد. ضریب آلودگی (CI) از حاصل ضرب شدت بیماری در ثابت مربوط به واکنش میزبان ($S = 1, MS = 0.8, I = 0.6, MR = 0.4, R = 0.2, O = 0$) داده‌ها و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، ضریب آلودگی بدست آمده را با استفاده از نرم‌افزار PAST به روش Ward تجزیه خوشه‌ای گردید.

نتایج و بحث

در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ بیماری زنگ قهوه‌ای در دزفول و گرگان در اثر مایه‌زنی مصنوعی و در اردبیل و مغان به‌طور طبیعی ظاهر و روی ژنوتیپ‌های مورد بررسی گسترش یافت. در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ بیماری زنگ قهوه‌ای در اثر مایه‌زنی مصنوعی در دو منطقه دزفول و گرگان ظاهر و گسترش یافت اما در اردبیل و مغان ظهور و بروزی نداشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده در شرایط همه‌گیری بیماری در مزرعه ۵۷٫۴ درصد ارقام و لاین‌های مورد بررسی (۵۸ ژنوتیپ) مقاومت قابل قبولی در چهار مکان در طی دو سال در مرحله گیاه کامل داشتند از جمله این ژنوتیپ‌ها ارقام، معراج، کلاته، تیرگان، احسان، مروارید، سارنگ، خلیل، شوش، مهرگان، افلاک، فرین، ترابی، طلایی، رخشان، بهاران، سیروان، زرینه، ثناء، تابان، آران، هانا، شبرنگ و بهرنگ که عموماً از ارقام تجاری معرفی شده طی سال‌های اخیر به شمار می‌روند، بودند. ۴۳ رقم و لاین از این ژنوتیپ‌ها حداقل در یکی از مناطق در طی دو سال حساسیت نشان دادند از جمله آنها ارقام گنبد، ستاره، سحر و شاور در گرگان، برات و امین در دزفول و پارسی و اروم در اردبیل در سال اول نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای واکنش حساسیت نشان دادند و ارقام سیوند، بهار، حیران، حیدری، پیشگام، میهن، زارع،

اسپورزایی شده، سپس اسپورهای تولید شده روی رقم حساس بولانی به روش برگ به برگ مایه‌زنی شدند. روی گیاهچه‌ها مایه‌زنی شده مه‌پاشی شده و بعد از گذاشتن درپوش‌های پلاستیکی به مدت ۲۴ ساعت در شرایط رطوبت نسبی اشباع و در اتاقک تاریک (20°C - 18°C) قرار داده شدند. سپس گیاهچه‌ها به داخل گلخانه با دمای 22°C و دوره نوری ۱۶ ساعت (۱۶ هزار لوکس) و ۸ ساعت تاریکی منتقل گردیدند. تقریباً از روز ۱۲ تا ۱۵ پس از مایه‌زنی هر سه روز یک بار اقدام به جمع‌آوری و نگهداری اسپور از روی گلدان‌ها شد. بذره‌های گندم رقم حساس بولانی به‌صورت توده‌ای در گلدان‌های محتوی خاک معمولی کشت شدند و پس از مدت ۱۰ روز که برگ اول گیاهچه‌ها به‌طور کامل ظاهر شد، اسپورهای تازه به کمک پمپ باد و نازل مخصوص اسپورپاشی با اسپور قارچ عامل بیماری زنگ قهوه‌ای معلق شده در حامل روغن معدنی سالترو ل مایه‌زنی شدند. مایه‌زنی و اسپورگیری تا زمان رسیدن اسپور به حدود ۱۰۰ گرم ادامه یافت. برای هر منطقه در سه نوبت ۱۰۰ گرم اسپور تهیه و به ایستگاه‌های تحقیقاتی صفی‌آباد دزفول و عراقی‌محله گرگان ارسال گردید. مایه‌زنی خزانه زنگ قهوه‌ای، با استفاده از جدایه زنگ قهوه‌ای هر منطقه، به کمک سمپاش پستی اتومایزر (مخلوط اسپور زنگ قهوه‌ای و پودر تالک به نسبت ۱ به ۲۰) بعد از به ساقه‌رفتن و قبل از زمان ظهور برگ پرچم در شرایط مساعد محیطی در غروب آفتاب (در صفی‌آباد دزفول در دی‌ماه‌الی اوایل اسفندماه و در گرگان از اواخر اسفند تا اواخر فروردین) صورت گرفت. در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در ایستگاه آلاروق اردبیل و پارس‌آباد مغان، ظهور و گسترش زنگ قهوه‌ای بدون مایه‌زنی مصنوعی و به‌طور طبیعی رخ داد.

یادداشت‌برداری از تیپ و شدت آلودگی در مرحله ظهور برگ پرچم پس از یکنواختی در ظهور بیماری بر روی رقم حساس (بولانی) از طریق تعیین درصد پوشش آلوده سطح برگ (۱۰۰-۰) براساس روش اصلاح شده کوب (Peterson *et al.* 1948) و به‌صورت تیپ آلودگی براساس روش (Roelfs *et al.* 1992) انجام شد. همچنین واکنش میزبان با تیپ آلودگی R (مقاوم)، MR (نیمه مقاوم)، MS (نیمه حساس) و S (حساس) به شرح زیر یادداشت برداری گردید:

O = مصون: بدون هیچ‌گونه علائم.

R = مقاوم: ظهور لکه‌های نکروتیک، بدون ظهور اسپور، یا

۲۰۰۳ (et al. 2003). همچنین Torabi et al. (2004) با ارزیابی واکنش ۲۰۰ لاین پیشرفته گندم دیم نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای در پنج منطقه کشور نتایج متفاوتی را مشاهده کرده و ضمن تأیید وجود نژادهای مختلف بیمارگر با پرآزاری‌های متفاوت در مناطق مختلف کشور، لاین‌های مصون تا حساس را تعیین کردند (اطلاعات منتشر نشده نگارنده‌گان و همکاران واحد بیماری‌شناسی غلات). Afshari et al. (2006) در مطالعه پنج خزانه از خزانه‌های سیمیت وجود ژن‌های مقاومت Lr_{26} ، Lr_{16+} ، Lr_{16} ، Lr_{13+} ، Lr_3 و تعدادی ژن‌های ناشناخته را گزارش نمود.

در این پژوهش، در شرایط گیاهچه‌ای ۳۳ درصد ژنوتیپ‌ها نسبت به چهار پاتوتیپ زنگ قهوه‌ای در این بررسی مقاوم بودند (جدول ۱). بر اساس مقاومت و حساسیت در مزرعه و گلخانه ژنوتیپ‌ها به چهار دسته تقسیم شدند:

گروه اول، مقاوم در هر دو مرحله گیاه کامل و گیاهچه‌ای: این گروه شامل ۲۹ ژنوتیپ بودند اعضای این گروه حامل ژن‌های مقاومت اختصاصی موثر به نژادهای مورد استفاده بودند. این ژنوتیپ‌ها ممکن است دارای ژن‌های مقاومت نژاد غیراختصاصی نیز باشند که توسط اثر ژن‌های مقاومت اختصاصی پوشیده شده‌اند. کلاته، تیرگان، مهرگان، ترابی، طلایی و تمام ژنوتیپ‌های گندم دوروم در این دسته قرار داشتند.

گروه دوم، حساس در هر دو مرحله گیاه کامل و گیاهچه‌ای: شامل ۴۰ نمونه بودند و فاقد ژن‌های مرحله گیاه کامل و ژن‌های نژاداختصاصی موثر نسبت به پاتوتیپ‌های مورد استفاده بودند.

گروه سوم، حساس در مرحله گیاهچه‌ای و مقاوم در مرحله گیاه کامل: این گروه شامل ۲۹ ژنوتیپ بود، در این گروه پنج رقم تجاری افلاک، شوش، سیروان، زرینه و احسان قرار دارند. این ارقام تجاری در مرحله گیاه کامل و در شرایط مزرعه مقاوم اما نسبت به تمام پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای در مرحله گیاهچه‌ای واکنش حساسیت نشان دادند لذا به نظر می‌رسد این ارقام احتمالاً دارای ژن یا ژن‌های دخیل در کنترل مقاومت در مرحله گیاه کامل باشند. با توجه به اهمیت بالای استفاده از ارقام دارای مقاومت در مرحله گیاه کامل (مقاومت غیر اختصاصی) در جلوگیری از همه‌گیری عامل بیماری‌زا و همچنین کاهش احتمال ظهور نژادهای جدید، استفاده از نشانگرهای مولکولی و بررسی‌های بیشتر برای شناسایی دقیق جایگاه‌های ژنی موجود در ژنوتیپ‌های مقاوم این گروه ضروری به نظر می‌رسد. در مطالعات Dadrezaei & Nazari (2015) وجود

برزگر، نارین، ارگ، افق و سیستان در دو یا بیش از دو منطقه حساس بودند (جدول ۱).

اختلاف در نتایج سالیانه می‌تواند به وجود اختلاف و تغییر در فراوانی و پرآزاری جمعیت عوامل بیماری‌زای غالب در منطقه و نیز شرایط محیطی تأثیرگذار در طی دو سال باشد. در کل نتایج حاکی از آن بود که ۶۳ درصد از ارقام و لاین‌های گندم اقلیم جنوب، ۹۶ درصد از ارقام و لاین‌های گندم اقلیم شمال، ۲۶ درصد از ارقام و لاین‌های گندم اقلیم سرد، ۵۷ درصد از ارقام و لاین‌های گندم اقلیم معتدل، ۱۰ درصد از ارقام و لاین‌های گندم شوری و تمامی ژنوتیپ‌های گندم دوروم واکنش مقاومت نشان دادند. در مجموع نتایج آزمایش‌های این تحقیق نشان داد که کمترین درصد از منابع مقاومت مربوط به ژنوتیپ‌های شوری و اقلیم سرد بود که توجه بیشتر به نژادگران این نواحی برای انتخاب مواد مقاوم به این بیماری ضرورت دارد. نتایج تجزیه خوشه‌ای بر اساس نتایج مزرعه (شکل ۱) نیز ارقام و لاین‌های مورد بررسی را در دو خوشه حساس - نیمه حساس و مقاوم تا مصون گروه‌بندی کرد. خوشه اول حدود ۵۸ درصد از ژنوتیپ‌ها را شامل شد. میانگین ضریب آلودگی (CI) در این خوشه ۷/۴ بود. ژنوتیپ‌های این خوشه حداقل تیپ و ضریب آلودگی را داشتند، در نتیجه این خوشه، خوشه مقاوم نامیده شد. در خوشه دوم ژنوتیپ‌های نیمه حساس و حساس (۴۳ رقم و لاین) با میانگین ضریب آلودگی ۳۴/۸، قرار گرفتند (شکل ۲). (2016) Mohajervatan et al در گرگان واکنش ۴۱ ژنوتیپ گندم نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای را در مزرعه و گلخانه بررسی کردند. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در شرایط مزرعه و در مرحله گیاه کامل در دو خوشه حساس و مقاوم و در شرایط گلخانه و در مرحله گیاهچه‌ای به سه خوشه مقاوم، نیمه مقاوم و حساس طبقه‌بندی شدند. در تحقیق دیگری مقاومت ۱۲۲ لاین پیشرفته گندم نسبت به یک پاتوتیپ زنگ قهوه‌ای در مرحله گیاهچه‌ای بررسی گردید. در این تحقیق نتایج تجزیه کلاستر لاین‌ها را به ۳ گروه مقاوم، نیمه مقاوم و حساس تقسیم کرد (Ghasemzadeh et al. 2010).

در ایران از سال ۱۳۷۲ با شروع فعالیت واحد بیماری‌شناسی غلات، آزمایشات متعددی در زمینه ارزیابی مقاومت لاین‌های گندم نسبت به بیماری‌های مهم این محصول اجرا شده است. در بررسی مقاومت گیاهچه‌ای ۲۱۷ لاین گندم در گلخانه اغلب ارقام نسبت به نژادهای مختلف زنگ قهوه‌ای حساسیت نشان دادند (Torabi

بیش از اندازه از مقاومت تک‌ژنی مانند Lr_{13} ، Lr_{10} و Lr_{37} باعث تحریک‌گزینش برای پاتوتیپ‌هایی از زنگ می‌شوند که بر ارقام حامل ژن‌های مقاومت مربوطه فایز آیند. بررسی‌ها نشان داده است که نسبت به میزان سطح زیر کشت ارقام حامل تک ژن مقاومت، جمعیت نژاد بیمارگر در جهت بیماری‌زایی برای تک‌ژن مربوطه انتخاب و افزایش می‌یابند که این فرایند در مورد ژن Lr_{13} در فرانسه (Goyeau et al. 2006) و اروپا (Park et al. 2001) و ژن Lr_{26} (Hanzalova et al. 2009) گزارش شده است.

همانگونه که نتایج تحقیقات مختلف در نقاط مختلف دنیا در قرن اخیر نشان می‌دهد در بیشتر موارد استفاده از تک‌ژن‌های اختصاصی مقاومت به‌عنوان یک روش کنترل، ناموفق است چرا که جمعیت عامل بیماری به‌سرعت توانایی غلبه بر ژن جدید مقاومت معرفی شده را تنها در طی چند سال خواهد داشت. برای جلوگیری و یا کاهش سرعت شکسته شدن مقاومت ارقام تک ژنی و حراست از منابع ژنی مقاومت باید برنامه‌های مشخصی مانند تنوع ژنتیکی، کشت موزائیکی، تناوب ژنی و پهنه‌بندی مناسب از ارقام در مناطق مختلف کشور برنامه ریزی کرد. به‌نژادگران گندم می‌توانند جهت پایداری مقاومت از ژن‌های مقاومتی از نوع مقاومت تدریجی (Slow rusting) به‌عنوان مکمل ژن‌های مقاومت نژاد اختصاصی استفاده کنند.

Mcintosh (1988) معتقد است تجمع ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه کامل در افزایش مقاومت ارقام مؤثر است. حضور ژن‌های مقاومت Lr_{13} و Lr_{34} در اکثر ارقام 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 (Singh 1993 ; Afshari 2000). فراوانی قطعات ژنی $Sr_{31}/Lr_{26}/Yr_9$ و $Lr_{34}/Yr_{18}/Pm_{36}$ در ژنوتیپ‌های گندم ایران نشان از تثبیت این آلل در میان گندم‌ها دارد (Dadrezai & Nazari 2015). لذا از این منظر برنامه‌های اصلاحی ارقام 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 موثر ژنوتیپ‌های بخش غلات نسبت به این بیماری و شناسایی منابع بالقوه مقاومت، در مناطق و سال‌های مختلف با پاتوتایپ‌های متنوع پس از تأسیس واحد پاتولوژی غلات باشد که در انتقال ژن و یا ژن‌های مقاومت

ژن مقاومت غیراختصاصی Lr_{34} در رقم افلاک تأیید شده است در آن مطالعه رقم افلاک و لاین M-85-7 در مرحله گیاهچه‌ای کاملاً حساس و در مرحله گیاه کامل کاملاً مقاوم بودند و دارای ژن مقاومت غیراختصاصی Lr_{34} بودند لذا دادرزائی و نظری احتمال دادند که این ارقام فاقد ژن مقاومت نژاد اختصاصی موثر به جدایه مورد استفاده باشند اما با توجه به ایجاد مقاومت بسیار بالا در شرایط مزرعه احتمالاً علاوه بر ژن Lr_{34} دارای ژن یا ژن‌های مرحله گیاه کامل دیگری باشند که به این لحاظ دارای اهمیت بوده و باید برای تأیید با مارکرهای مولکولی بررسی شوند.

گروه چهارم، مقاوم در مرحله گیاهچه‌ای و حساس در مرحله گیاه کامل: شامل سه لاین که نشان می‌دهند این لاین‌ها فاقد ژن‌های دخیل در کنترل مقاومت در مرحله گیاه کامل هستند، ولی احتمالاً تحت تاثیر نژادهای دیگری غیر از نژادهای استفاده شده در مرحله گیاهچه‌ای که در مزرعه موجود بودند قرار گرفته‌اند. در زمان جمع‌آوری اسپور و ارزیابی آن در شرایط گلخانه این نژاد یا در جمعیت جمع‌آوری شده وجود نداشته و یا تنها درصدی از جمعیت بیمارگر مزرعه بوده نه تمام آن و نژادی و یا جمعیتی که توانسته‌اند این ارقام را در مزرعه آلوده کنند در جمعیت جمع‌آوری و استفاده شده در گلخانه وجود نداشته و یا فراوانی آن اندک بوده لذا در شرایط گلخانه فرصت بروز و ظهور را در طی ۱۲ روز نداشته اما در شرایط مزرعه به دلیل زمان طولانی‌تر این فرصت بوجود آمده است. در مطالعه پاتوتیپ‌ها و نژادهای فیزیولوژیک عامل بیماری زنگ قهوه‌ای گندم و پراکنش آن در ایران مشخص گردید که تنوع بسیار بالایی در جمعیت عامل بیماری زنگ قهوه‌ای کشور وجود دارد (Dadrezai et al. 2012). به‌دلیل تنوع بالای نژادها در ایران تنها تعداد کمی از ارقام حامل 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 تک ژن، مقاومت عمودی رخ می‌دهد. برخی از ژن‌های مقاومت شرح داده شده مقاومت کامل تا کنون داشته‌اند با این حال انتظار می‌رود که همانند ژن Lr_9 که توسط Kolmer (2005) شرح داده شد زمانی که این ژن‌ها به‌صورت گسترده در ارقام بکار بروند، پایداری طولانی نداشته باشند. استفاده

بسیار مؤثری در پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی به شمار می‌رود. به‌نژادگران با استفاده از این اطلاعات و تلاقی‌های هدفمند قادر خواهند بود که با هرمی کردن ژن‌های کنترل‌کننده مقاومت در ارقام تجاری و پرمحصول ضمن کاهش خسارت ناشی از گسترش بیماری بر کیفیت و کمیت محصول از بروز همه‌گیری بیماری هم جلوگیری کنند.

ردیابی ژنوتیپ‌های حامل ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای توسط نشانگرهای تشخیصی برای ترکیب ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای در ارقام برای مقاومت پایدار بر علیه زنگ قهوه‌ای یک امر بسیار ضروری است. برای به‌دست آوردن ارقامی با سطح بالای محافظت از بیماری در شرایط فشار بالای بیماری چندین ژن مقاومت تدریجی (مرحله کامل گیاه) مختلف مورد نیاز است که با هم ترکیب شود. اصلاح‌گران گندم می‌توانند از ژن‌های مقاومت تدریجی به‌عنوان مکمل ژن‌های مقاومت نژاد اختصاصی استفاده کنند. آنها مقاومت پایدار و مقاومت نژاد غیراختصاصی مرحله گیاه کامل را تأمین می‌کنند اما اثر آنها خیلی کمتر از مقاومت ژن‌های نژاد اختصاصی است (Dadrezai & Nazari 2015).

زنگ قهوه‌ای به ارقام زراعی همکاری مؤثری داشتند.

از طرفی نتایج پژوهش (Dadrezai & Nazari 2015) نشان داد ژرم‌پلاسم گندم ایران فاقد ژن‌های مقاوم متنوع می‌باشد و تنوع در ژنوتیپ‌های بررسی شده پایین است. تعداد کم ژن‌های مقاومت در ژنوتیپ‌های تجاری ایران نشان از عدم استفاده از منابع ژنی متنوع خصوصاً ژرم‌پلاسم‌های بومی بوده و اتکای فراوان به برخی ژنوتیپ‌های ممتاز سیمیت در برنامه‌های به‌نژادی دارد. این مساله به‌نظر ممکن است در درازمدت آسیب‌زا باشد چرا که نژادهای جدید بیمارگر زنگ به‌طور مستمر ظاهر شده و پرآزاری علیه این ژن‌ها تولید می‌کنند و در اثر این توانایی تغییر و تنوع در بیمارگر، امکان شکست مقاومت پس از مدتی وجود دارد. زنگ‌ها علاوه بر داشتن تنوع بالا، بسیار متحرک بوده که می‌توانند مناطق گسترده تولید گندم در مقیاس قاره‌ای را مبتلا کنند (Kolmer & Ordenez 2007).

در دسترس بودن اطلاعات مربوط به حضور و عدم حضور جایگاه‌های ژنی مختلف موثر در کنترل مقاومت به بیماری‌ها به‌خصوص زنگ قهوه‌ای در ارقام تجاری و لاین‌های اصلاحی کمک

جدول ۱. نتایج واکنش ژنوتیپ‌های گندم پیشرفته و ارقام تجاری ایران نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای طی سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل.

Table 1. Results of reaction of advanced and commercial genotypes of Iranian wheat to leaf rust at seedling and adult plant stages.

No.	Name	Genotype reaction under field conditions						Genotype reaction under Greenhouse conditions			
		Year:2020			Year:2021			Year:2020			
		Dezful	Gorgan	Ardabil	Moghan	Dezful	Gorgan	Lr-94-5	G32	Lr-98-14	Lr-00-3
1	Meraj	20 MR	0	10 MR	5 MR	0	0	3 , ;	3 , ;	3	2p3 , 4p0
2	Kalateh	5 MS	0	10 MR	10 MR	0	0	; , 2	3 , ; , 1	; 2	3p3, 2p0
3	Tirgan	30 MS	0	10 R	5 MR	10 MS	0	;	3 , ;	; 3	2 , 1
4	Ehsan	30 MR	0	10 MR	TMR	0	20 MS	3+	3+	3	3
5	Morvarid	40 MS	0	10 MS	10 MS	0	20 MS	3+	3 , ;	; 321	; , 1
6	Gonbad	30 MS	80 S	10 MR	20 MR	10 MS	0	0	3+	3	;
7	N-92-9	40 MS	40 MS	10 R	10 MR	10 MS	50 S	3+	3+	3	;
8	N-92-19	30 MR	0	10 MR	TMR	5 MS	0	;	3 , 1 , ;	; 321	; , 1
9	N-93-9	10 MR	0	10 R	5 MR	5 MS	0	3	3 , ; , 1	; 32	2 , 3 , 1
10	N-93-17	30 MR	0	10 MR	10 MS	10 MS	30 MS	3 , ;	6P3 , ; , 1 IP3	; 3	2p3, 4p0
11	N-94-8	30 MS	0	10 MS	5 MR	0	0	3 , ;	; , 1 , 3	; 32	3
12	N-94-11	10 MS	0	40 MS	TMR	10 MS	15 MS	; , 2	1P3, 4P3 , ;	; 2	3

ادامه جدول ۱ .

Co. Table 1.

No.	Name	Genotype reaction under field conditions						Genotype reaction under Greenhouse conditions			
		Year:2020			Year:2021			Year:2020			
		Dezful	Gorgan	Ardabil	Moghan	Dezful	Gorgan	Lr-94-5	G32	Lr-98-14	Lr-00-3
13	N-94-12	20 MR	0	10 R	5 MR	0	0	3	3 , ;	2+	3
14	N-95-6	5 MR	0	10 R	0	0	0	; , 1	3 , ;	;321	4
15	N-95-7	5 MR	0	10 R	TMR	0	10 MS	3 , ;	; , 3 , 1	;32	3+
16	N-95-10	10 MR	0	30 MS	0	0	10 MS	;	; , 1	;1	1 , 2
17	N-95-14	10 R	0	10 R	5 MR	5 MS	0	3 , ;	3 , ;	;3	3+
18	N-95-15	40 MR	0	10 MS	20 MS	0	0	;	3 , ;	;3	2
19	N-96-4	40 MS	0	10 MS	5 MR	0	0	;	3 , 1 , ;	3	3
20	N-96-5	20 MS	0	10 R	TMR	0	40 MS	;	; , 3 , 1	3	2 , 3 , 1
21	N-96-7	10 MR	0	10 R	20 MR	5 MS	10 MR	;	0 , ; , 1	3	; , 2
22	N-96-15	20 MR	0	30 MS	10 MR	0	10 MR	3 , 2 , ;	0 , ; , 1	;321	2 , 3
23	N-96-17	10 R	0	10 R	0	0	0	; , 3 , 2	1 , 3 , ;	;2	2 , 3
24	Sahar	30 MR	100 S	20 MS	20 MR	20 M	0	;	3 , ;	3	2+
25	Setareh	50 MS	80 S	10 MR	30 MS	10 MS	50 MS	;	3	3	3 , 2+
26	Sarang	30 MR	30 MS	10 MS	10 MR	10 MS	15 MS	3	3 , ;	;3	2 , ; , 1
27	Khalil	30 MR	50 MS	10 MR	30 MS	30 MS	15 MS	3	; , 3	3	2+
28	Barat	60 S	50 MS	30 S	5 MR	30 MS	30 MR	; , 2	3 , ;	3	2 , ;
29	Shoush	40 MS	0	10 R	TMR	10 MS	0	3+	3+	3	3
30	Mehregan	5 MR	0	10 R	0	0	0	;	1P3, 4P0	;	;
31	Aflak	30 MR	0	20 MS	5 MR	10 MS	0	3+	3+	3	3+
32	Shavour	40 MS	100 S	10 R	40 S	10 MS	40 MS	; , 3-	; , 3	;32	3+
33	Chamran	60 MS	20 MS	20 MS	40 MR	50 MS	30 MS	0	3	3	
34	Chamran 2	50 MS	0	30 S	40 S	10 MS	20 MR	;	3	3	2 , ;
35	S-94-7	40 MS	70 S	20 MS	50 S	30 MS	40 S	; , 3	; , 3	3	3
36	S-95-3	5 MR	0	10 R	20 MR	0	0	3	; , 2	;321	4
37	S-96-15	40 MR	80 S	10 R	50 S	10 MS	15 MS	;	3	;32	3 , 2+
38	S-96-16	10 R	20 MS	10 R	40 MS	10 MS	10 MS	; , 2	;	;1	; , 1
39	S-96-31	30 MR	10 MS	10 R	5 MR	0	10 MS	3 , ;	; , 3	;32	; , 2
40	Amin	70 S	20 MS	40 MS	20 MS	0	20 MS	0 , ;	; , 3	32	3
41	Farin	20 MS	40 MS	30 MS	30 S	5 MS	40 MS	;	3 , ;	;3	3 , 2
42	Torabi	10 MR	0	10 R	TMR	0	0	; , 3	;	;1	3 , 2

ادامه جدول ۱.

Co. Table 1.

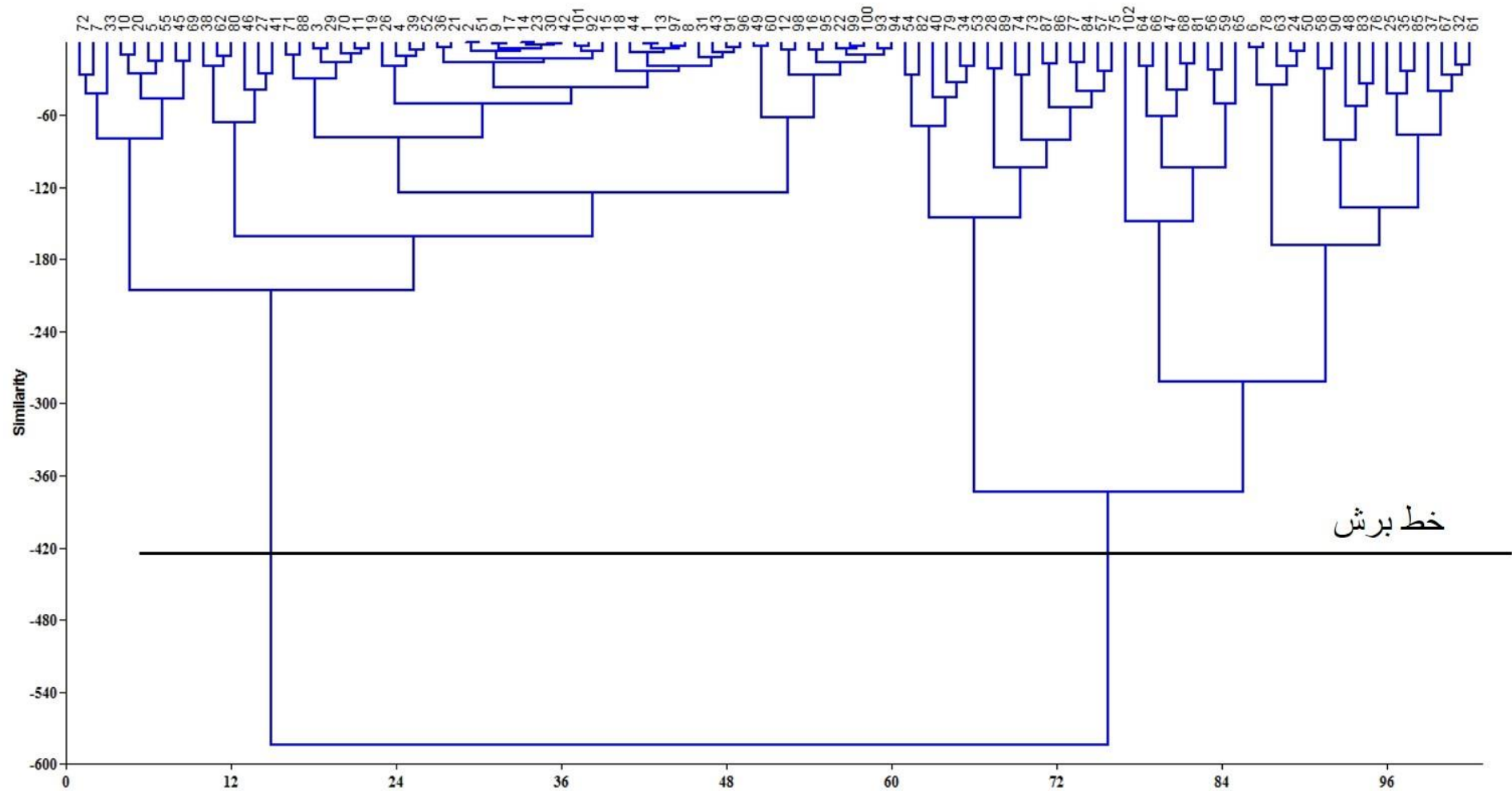
No.	Name	Genotype reaction under field conditions						Genotype reaction under Greenhouse conditions			
		Year:2020			Year:2021			Year:2020			
		Dezful	Gorgan	Ardabil	Moghan	Dezful	Gorgan	Lr-94-5	G32	Lr-98-14	Lr-00-3
43	Talaei	20 MR	20 MR	10 MS	TMR	0	0	3, ;	3, ;	;32	2, 1
44	Rakhshan	R-30 MR	0	10 MR	20 MR	5 MS	0	3+	3, ;	;3	2, ;
45	Baharan	5 MR	0	10 R	10 MR	5 MS	40 S	0	3	3	,, 1
46	Sirvan	30 MR	40 S	40 S	20 MS	10 MS	0	3+	3	3	3
47	Sivand	60 S	60 S	40 S	70 S	50 MS	50 S	3+	3+	3	3
48	Bahar	70 S	100 S	50 S	30 S	30 MS	0	;	,, 3	3	2, ;
49	Parsi	50 MS	0	50 S	30 MR	20 MS	0	0	1P3, 4P3, ;	3	3
50	M-95-10	10 R	100 S	20 MS	20 MR	10 MS	0	3, ;	,, 3	;3	2, ;
51	M-96-6	10 MR	0	10 MR	10 MR	0	0	;	,, 3	;321	,, 1
52	M-96-13	20 MR	15 MS	10 MR	10 MR	5 MS	15 MS	3, ;	,, 3	;32	,, 1
53	M-96-14	60 S	15 MS	20 MS	40 S	10 MS	15 MS	3, 2, ;	3, ;	;3	3
54	Heyran	90 S	0	40 MS	60 S	30 MS	0	;	3, ;	3	3
55	Zarineh	30 S	0	10 MR	TMR	20 MS	30 S	3+	3	3	3
56	Heydari	40 MS	50 MS	30 MS	60 S	5 MS	70 S	1P3, 4P;	3+	;3	3
57	Pishgam	60 S	50 MS	30 MS	50 S	0	0	;	3, ;	1P35P;	3
58	Mihan	30 S	60 S	40 MS	70 S	10 MS	0	;	3, ;	;3	3
59	Zareh	60 S	40 S	40 MS	60 S	20 MS	60 S	,, 1, 3	3, ;	3	3
60	Uroum	40 S	0	50 S	20 MS	20 MS	0	;	,, 1	;3	2+
61	CD-91-12	20 MS	100 S	20 MS	50 S	20 MS	30 MS	0	3, ;	3	3
62	CD-93-9	30 MR	0	10 MS	40 MS	0	0	;	,, 3, 2	3	3
63	CD-93-10	30 MR	100 S	10 MR	30 MS	20 MS	0	3, ;	3	;321	3
64	CD-94-8	70 S	100 S	40 S	50 S	30 MS	50 S	3, ;	3, ;	3	3, 2
65	CD-94-9	60 S	80 S	30 S	60 S	20 MS	100 S	3	3, ;	3	3
66	C-94-5	90 S	100 S	60 S	50 S	30 MS	50 S	,, 3	,, 3	;321	3
67	CD-95-5	40 MS	100 S	30 MS	40 S	30 MS	40 S	0	3	3	3
68	C-96-8	60 S	80 S	50 S	45 S	10 MS	40 S	,, 1	3, ;	3	3
69	C-96-9	20 MR	0	20 MR	TMR	0	60 S	,, 1	;	2p34p;	,, 1
70	CD-96-4	30 MS	0	20 MS	TR	5 MS	0	;	3, ;	3	3
71	CD-96-9	40 MS	0	20 MS	30 MR	10 MS	0	;	3, ;	,321	3, 2
72	CD-96-10	40 MS	0	20 MS	20 MR	30 MS	50 S	,, 1	3	,32	3, 2

ادامه جدول ۱.

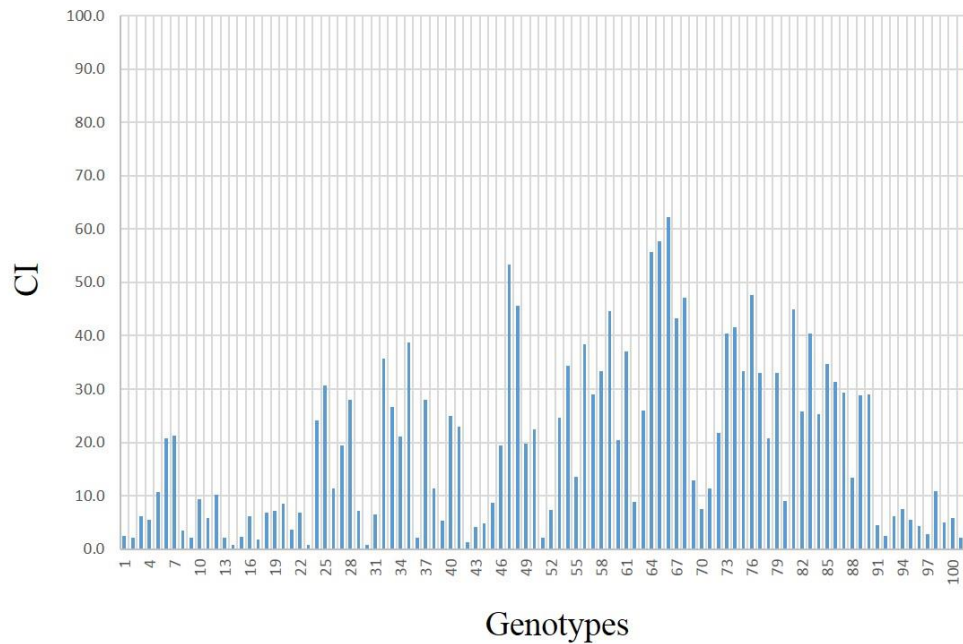
Co. Table 1.

No.	Name	Genotype reaction under field conditions						Genotype reaction under Greenhouse conditions			
		Year:2020			Year:2021			Year:2020			
		Dezful	Gorgan	Ardabil	Moghan	Dezful	Gorgan	Lr-94-5	G32	Lr-98-14	Lr-00-3
73	Barzagar	60 S	20 MS	50 S	50 S	50 S	20 MS	3	3	3	3
74	Narin	80 S	40 S	40 MS	40 S	50 S	10 MS	0	3	3	3
75	Arg	80 S	30 S	20 MS	50 S	30 MS	0	3	3	3	3
76	Ofogh	80 S	80 S	40 MS	70 S	30 MS	0	; , 3	; , 3	3	3
77	Sistan	50 S	40 S	30 MS	60 S	30 MS	0	3	3	3	3
78	MS-92-5	30 MS	80 S	10 MR	30 MR	5 MS	0	3 , ;	3 , ;	;321	3
79	MS-92-14	60 S	0	40 MS	50 S	30 MS	40 MS	3 , ;	3	;32	2p3, 4p; , 1
80	MS-93-14	5 MR	0	10 MR	40 S	10 MS	0	1P3, 4P0	1P3, 6P0	1p3-5p;	;
81	MS-93-16	50 S	80 S	40 MS	60 S	10 MS	50 MS	3	3	3	3
82	MS-94-5	60 S	0	20 MS	70 S	10 MS	0	3 , ;	3	3	3
83	MS-94-14	40 S	100 S	20 MS	70 S	20 MS	0	3	3	3	3+
84	MS-95-4	40 S	30 S	10 MS	50 S	30 MS	0	3 , ;	3 , ;	32	3+
85	MS-95-9	40 S	50 S	10 MS	30 S	50 MS	50 MS	3 , ;	3-	;321	3+
86	MS-95-19	60 S	50 S	10 MS	30 S	20 MS	30 MS	3	; , 3-	3	3+
87	MS-96-4	60 S	40 S	10 MS	40 S	30 MS	10 MR	3	3	3	3
88	MS-96-5	30 MS	0	30 MS	20 S	10 MS	10 MR	3	0	;3	3
89	MS-96-8	60 MS	60 S	30 MS	TMR	empty	0	3 , ;	3	3	empty
90	MS-96-19	20 MS	60 S	30 MS	50 S	30 MS	0	3	3	3	3
91	Sana	30 MR	5 MR	20 MR	TMR	0	10 MR	2+	0	;32	;
92	Taban	R	5 MR	10 MS	0	0	10 MR	0	;	;	;
93	Aran	30 MR	0	30 MS	0	0	0	; , 1	;	;321	;
94	Hana	30 MR	0	40 MS	0	0	0	; , 2	0	;2	;
95	Shabrang	20 MR	0	20 MS	TMR	0	10 MS	; , 2	3- , ;	;2	;
96	Behrang	30 MR	0	30 MR	TMR	0	0	; , 2+	;	;1	;
97	DM-95-6	30 MR	0	10 R	5 MR	0	0	; , 3	0	;2	; , 1
98	DM-95-16	20 MR	0	40 S	TMR	5 MS	15 MS	; , 1	;	;21	;
99	D-96-5	10 MR	0	30 MS	TMR	0	0	; , 1	;	;2	;
100	D-96-16	20 MR	0	30 MS	5 MR	0	0	;	; , 1	;	;
101	D-96-19	5 MR	0	20 MR	5 MR	0	0	; , 2+	; , 3	32	;
102	Bolani (Sus.)	100 S	100 S	90 S	100 S	90 S	80 S	3	3	3	3

* R = Resistant, MR = Moderate Resistant, MS = Moderately Susceptible, and S = Susceptible. T = Trace = Less than 5 percent. P = Plant.



شکل ۱. دندروگرام واکنش لاین‌های پیشرفته و ارقام تجاری گندم ایران نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای در مرحله گیاه کامل با روش Wards. **Figure 1.** Dendrogram for reaction of advanced and commercial cultivars of Iranian wheat to leaf rust at adult plant stages using Wards method.



شکل ۲. نمودار میانگین ضریب آلودگی لاین‌های پیشرفته و ارقام تجاری گندم ایران نسبت به بیماری زنگ قهوه‌ای در مرحله گیاه کامل.

Figure 2. Diagram of mean coefficient infection for reaction of advanced and commercial cultivars of Iranian wheat to leaf rust at adult plant stages.

References

- Afshari F, Torabi M, Kia S, Dadrezaei ST, Safavi SA, *et al.*, 2006. Monitoring of virulence factors of *Puccinia triticina* Eriksson, the causal agent of wheat leaf rust in Iran during 2002–2004. *Seed and Plant* 21:485–496 (In Persian with English abstract).
- Afshari F. 2000. Studies on rust resistance in wheat with particular emphasis on stripe rust. Ph.D. Thesis, University of Sydney, Australia. 252 pp.
- Bolton MD, Kolmer JA, Garvin DF. 2008. Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Molecular Plant Pathology* 9(5): 563–575.
- Chen XM. 2005. Review / Synthèse Epidemiology and evaluation of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology* 27: 314–337.
- 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 and 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 and Plant Improvement Journal* 31(1): 163–187 (In Persian with English abstract).
- Dadrezaei ST, Tabatabaei N, Lakzadeh I, Jafarnejad A, Afshari F, *et al.*, 2018. Evaluation of tolerance to leaf rust disease in some selected bread wheat genotypes. *Applied Entomology and Phytopathology* 86(1): 29–40 (In Persian with English abstract).
- Persian with English abstract).
- Dadrezaei ST, Torabi M. 2016. Management of wheat rusts. *Plant Pathology Science* 5 (2): 81–89.
- Ghasemzadeh E, Afshari F, Khodarahmi M, 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 (3): 51–59.
- Goyeau H, Park R, Schaeffer B, Lannou C. 2006. Distribution of pathotypes with regard to host cultivars in frenches wheat leaf rust populations. *Phytopathology* 96: 264–273.
- Hanzalova A, Sumíková T, Bartos P. 2009. Determination of leaf rust resistance genes *Lr10*, *Lr26* and *Lr37* by molecular markers in wheat cultivars registered in the Czech Republic. *Czech Journal of Genetics and Plant-Breeding* 45: 79–84.
- 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.
- 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
- Kolmer JA, Ordoñez ME. 2007. Genetic differentiation of

- Puccinia triticina* populations in Central Asia and the Caucasus. *Phytopathology* 97:1141–1149.
- Kolmer JA. 2005. Tracking wheat rust on a continental scale. *Current Opinion in Plant Biology* 8: 441–449.
- Lagudah ES. 2010. Molecular genetics of race non-specific rust resistance in wheat. *BGRI 2010 Technical Workshop*, May 30-31, St Petersburg, Russia.
- Line RF. 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: A Retrospective Historical Review. Annual Review of *Phytopathology* 40(1): 75–118.
- McIntosh RA, Dubcovsky J, Rogers WJ, Morris C, Appels R, *et al.*, 2014. Catalogue of gene Symbols for Wheat: 2013-2014 Supplement. http://maswheat.ucdavis.edu/CGSW/2013-2014_Supplement.pdf
- McIntosh RA, Dubcovsky J, Rogers WJ, Morris C, *et al.*, 2017. Catalogue of gene Symbols for Wheat: 2017 supplement. <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/macgene/supplement2017.pdf>.
- McIntosh RA, Wellings CR, Park, RF. 1995. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. CSIRO Publications, Australia. 205pp.
- McIntosh RA. 1988. The role of specific genes in breeding for durable stem rust resistance in wheat and triticale. Simmonds, N.W. and Rajaram, S. (Eds). *Breeding strategies for resistance to rusts of wheat*. CIMMYT, Mexico. D.F. Pp. 1–9.
- Mohajervatan F, Nasrollahnejad Ghomi AA, Kalate Arabi M, Dehghan MA. 2016. Evaluation of resistance to leaf rust in some wheat cultivars in field and greenhouse conditions. *Journal of crop breeding* 8 (20): 70–76 (In Persian with English abstract).
- Park RF, Goyeau H, Felsenstein FG, Bartoš P, Zeller FJ. 2001. Regional phenotypic diversity of *Puccinia triticina* and wheat host resistance in Western Europe, 1995. *Euphytica* 122: 113–127.
- Peterson RF, Campbell AB, Hannah AE. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. *Canadian Journal 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, DF, 81 pp.
- Singh RP. 1993. Resistance to leaf rust in 26 Mexican wheat cultivars. *Crop Science* 33: 633–637.
- Singh RP, Huerta-Espino J, 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: 133–139.
- 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 and Plant* 18: 432–449 (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: 455-464.



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