پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۲ (۴): ۴۳۷-۴۲۵ (۱۴۰۲)- مقاله پژوهشی
Journal of Applied Research in Plant Protection 12 (4): 425–437 (2023)-*Research Article*

https://dx.doi.org/ 10.22034/arpp.2023.16756

ارزیابی لاین‌های گندم امیدبخش اقلیم معتدل کشور از نظر واکنش نسبت به بیماری زنگ سیاه

علی ملیحی‌پور✉، گودرز نجفیان
بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، استان البرز، ایران.
✉a.malihipour@areeo.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۴ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵

چکیده

زنگ سیاه گندم ناشی از قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، در گذشته مهم‌ترین بیماری گندم بوده و در حال حاضر تهدیدی بالقوه برای تولید این محصول است. تحقیق حاضر جهت تعیین واکنش ۳۸ لاین امیدبخش برنامه به‌نژادی اقلیم معتدل کشور مشتمل بر ۲۰ لاین به دست آمده از این برنامه در سال ۱۳۹۴ (ERWYT-M-94) و ۱۸ لاین سال ۱۳۹۵ (ERWYT-M-95) در مراحل گیاهچه و گیاه کامل اجرا گردید. بررسی مقاومت گیاهچه‌ای در برابر سه نژاد شایع منطقه کلاردشت (مازندران) و یک نژاد Ug99 از منطقه شاوور (خوزستان) در شرایط گلخانه و بررسی مقاومت گیاه کامل طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ برای مواد دسته اول و دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ برای مواد دسته دوم در کلاردشت انجام شد. نتایج نشان داد که لاین‌های آزمایشی در هر دو مرحله گیاهچه و گیاه کامل واکنش‌های متفاوتی در برابر بیماری دارند. در مرحله گیاهچه، لاین‌های با تیپ آلودگی پایین (مقاومت)، بیش از همه در برابر جدایه 15-94 (نژاد PTRTF) و بعد از آن به‌ترتیب در برابر جدایه‌های 32-94 (نژاد TTTTF)، 31-95 (نژاد TKTTF) و 2-95 (نژاد TTKTK) مشاهده شدند. از نظر مقاومت گیاه کامل، بیشتر لاین‌های آزمایشی در مقایسه با شاهد حساس دارای میزان بیماری کمتری بودند و از بین آنها چهار لاین به شماره‌های M-94-2، M-94-5، M-94-15 و M-94-16 از لاین‌های سال ۱۳۹۴ و سه لاین M-95-2، M-95-9 و M-95-15 از لاین‌های سال ۱۳۹۵ در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی حساسیت کمتری داشتند. علت این امر می‌تواند وجود ژن‌های مقاومت گیاه کامل در این لاین‌ها باشد.

کلمات کلیدی: مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل، *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، Ug99، حساسیت

Evaluation of the moderate agro-climate zone elite wheat lines of Iran in terms of reaction to stem rust disease

Ali Malihipour✉, Goodarz Najafian

Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Alborz Province, Iran.
✉a.malihipour@areeo.ac.ir

Received: 5 March 2023 Revised: 19 April 2023 Accepted: 15 Mayr 2023

Abstract

Stem rust of wheat caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, the most important disease of wheat in the past, is currently a potential threat to wheat production. The present research was conducted to determine the reaction of 38 elite lines of temperate agro-climate breeding program including 20 lines obtained from this program in 2015 (ERWYT-M-94) and 18 lines from 2016 (ERWYT-M-95) at seedling and adult-plant stages. Investigating seedling stage resistance was carried out by determining the reaction of experimental lines to three common races of Kelardasht, Mazandaran and one Ug99 race from Shavour, Khouzestan in the greenhouse. Investigating adult-plant resistance was carried out under field conditions in Kelardasht during two cropping years of 2015-16 and 2016-2017 for ERWYT-M-94 lines and two cropping years of 2016-2017 and 2017-2018 for ERWYT-M-95 lines. Results showed that the experimental lines had different reactions to disease at both seedling and adult-plant stages. At the seedling stage, the most lines with low infection type (resistance) were observed against the isolate 94-15 (race PTRTF), followed by the isolates 94-32 (race TTTTF), 95-95 31 (race TKTTF), and 2-95 (race TTKTK). In terms of adult-plant resistance, most of the lines had a lower disease rate compared to the susceptible check, and among them four lines of M-94-2, M-94-5, M-94-15 and M-94-16 from ERWYT-M-94 and three lines of M-95-2, M-95-9 and M-95-15 from ERWYT-M-95 were less susceptible compared to other lines. The reason for this could be the presence of adult-plant resistance genes in these lines.

Keywords: Seedling resistance, adult-plant resistance, *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, Ug99, susceptibility.

How to cite:
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.

مقدمه

زنگ سیاه گندم ناشی از قارچ *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Eriks. & Henn. به‌طور بالقوه یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم به شمار می‌رود. با توجه به اهمیت زیادتر این بیماری در گذشته، سوابقی از همه‌گیر شدن و میزان خسارت آن در گندم در مناطق مختلف جهان ثبت شده است (Singh *et al*. 2008). اولین گزارش از وجود زنگ سیاه در ایران به سال ۱۳۲۶ برمی‌گردد (Esfandiari 1947). از آن زمان به بعد، وقوع چندین همه‌گیری از بیماری در کشور بـه خـصوص در نواحی جنوبی و شمالی کشور گزارش شده است (Sharif *et al*. 1970; Bamdadian & Torabi 1978). به دنبال همه‌گیر شدن این بیماری در مناطق جنوب و جنوب شرقی کشور در سال ۱۳۵۵ که در اثر مـساعد شدن شرایط اقلیمی بـرای ظهـور و توسـعه بیماری پدیـد آمد، میزان خسارت به ۹۰٪ هم رسید (Bamdadian & Torabi 1978). بیماری زنگ سیاه از حدود دو دهه پیش دوباره در کشور اهمیت پیدا کرده است. اگر این بیماری کنترل نشود، می تواند تمام محصول را در مدت زمان کوتاهی از بین ببرد (Singh *et al*. 2011).

قارچ عامل زنگ سیاه همانند قارچ‌های عامل سایر زنگ‌ها انگل اجباری است و برای رشد و تولید مثل به بافت میزبان زنده نیاز دارد، گرچه در غیاب بافت میزبان زنده، می‌تواند به صورت اسپور (spore) یا هاگ زنده بماند. همچنین، قارچ *P. graminis* f. sp. *tritici* دومیزبانه (heteroecious) است و برای تکمیل چرخه زندگی خود به دو گیاه میزبان نامرتبط یعنی گندم و زرشک معمولی نیاز دارد. از نظر چرخه زندگی نیز این قارچ چرخه‌کامل (macrocyclic) می باشد و هر پنج مرحله ای اسپوری را تولید می کند. مشخص شده است که قارچ *P. graminis* f. sp. *tritici* دارای تنوع ژنتیکی زیادی بوده و بدین ترتیب نژادهای فیزیولوژیک زیادی متعلق به آن شناسایی شده‌اند که ممکن است از نظر زیستگاه جغرافیایی یا پرآزاری (virulence) روی گیاه متفاوت باشند.

برای کاهش بیماری زنگ سیاه در گندم علاوه بر انهدام زرشک، استفاده از روش‌های زراعی، مبارزه شیمیایی و مقاومت ژنتیکی قابل توصیه است. مقاومت ژنتیکی رایج‌ترین و مؤثرترین روش برای کنترل این بیماری به‌شمار می‌رود. موفقیت این روش در آمریکای شمالی به‌طور مستقیم با کاهش نژادهای موجود در جمعیت قارچ عامل بیماری که به دنبال برنامه ریشه‌کنی زرشک اتفاق افتاده است، مرتبط است (Schumann & Leonard 2000). افزایش رشد بوته‌های زرشک در مناطق کشت گندم باعث می‌شود تا این گیاهان هم به‌عنوان منبع مایه قارچ (inoculum) عمل کنند و هم به‌عنوان وسیله‌ای که قارچ می‌تواند چرخه زندگی خود را روی آن تکمیل کند. دانشمندان دریافته‌اند که حتی در غیاب زرشک نباید انتظار داشت که ژن‌های مقاومت مورد استفاده در گندم برای مدت نامعلومی مؤثر باقی بمانند، زیرا نژادهای جدید این قارچ می‌توانند از طریق جهش نیز به‌وجود آیند. تاکنون حداقل ۶۰ ژن مشخص برای مقاومت اختصاصی نژاد (race-specific resistance) یا مقاومت عمودی (vertical resistance) در برابر زنگ سیاه در گندم شناسایی یا از طریق انجام تلاقی‌های دور (wide cross) با خویشاوندان وحشی گندم به آن منتقل شده‌اند (McIntosh *et al*. 2017; Hafeez *et al*. 2021; Kumar *et al*. 2022). همه این ژن‌های مقاومت به یک اندازه مفید نیستند و بسیاری از آنها به‌سرعت از برنامه‌های اصلاح نژاد گندم کنار گذاشته شده‌اند، زیرا نژادهای پرآزار و خطرناک قارچ عامل بیماری با قدرت غلبه بر مقاومت این ژن‌ها موجب از بین رفتن کارآیی این ژن‌ها شده‌اند. به‌دلایلی نامشخص، چند ژن مقاومت عمودی زنگ سیاه برای سالیان متمادی در برابر این بیماری بسیار مؤثر باقی ماندند. موفق‌ترین آنها ژن *Sr31* بود که بر روی بخشی از کروموزوم چاودار قرار داشت و با فرآیند پیچیده هیبریداسیون بین گونه‌ای (interspecific hybridization) به گندم منتقل شده بود. بعد از سال‌ها مقاومت ژن *Sr31* در برابر زنگ سیاه، با پیدایش نژاد جدیدی از قارچ عامل زنگ ساقه گندم در سال ۱۹۹۹ در اوگاندا (معروف به نژاد Ug99) که روی *Sr31* پرآزاری داشت (Pretorius *et al*. 2000)، دوره کارآیی این ژن به پایان رسید. نژاد جدید که مطابق سیستم آمریکایی تعیین نژاد قارچ‌های عامل زنگ‌ها به نام TTKSK نام‌گذاری شد (Jin *et al*. 2008)، به‌سرعت بر جمعیت قارچ عامل بیماری در اوگاندا تسلط یافت. این نژاد در سـال ۲۰۰۱ از کنیا (Wanyera *et al*. 2006)، ۲۰۰۳ از اتیوپی (Admassu *et al*. 2009)، ۲۰۰۶ از یمن و سودان (Singh *et al*. 2008) و ۲۰۰۷ از ایران (Nazari *et al*. 2009) نیز گزارش شد. اهمیت این نژاد از این نظر است که عمده ژن‌های مقاومتی که طی چند دهه اخیر وارد ارقام تجاری گندم شده و در برابر نژادهای مختلف زنگ سیاه عمل می‌کردند در برابر این نژاد کارایی ندارند. طی دو دهه اخیر، جورهایی (variant) از نژاد اولیه و کلاسیک Ug99 (TTKSK) شامل TTKST، TTKSP، TTKSF، TTKSF+، TTTSK، PTKSK، PTKST (Singh *et al*. 2015)، TTKTK، TTKTT، TTHST (Newcomb *et al*. 2016)،

TTHSK و PTKTK (Fetch *et al*. 2016) در مناطق مختلف جهان شناسایی و گزارش شده‌اند که از نظر پرآزاری یا عدم پرآزاری روی یک یا چند ژن از بین ژن‌های مقاومت *Sr9h*، *Sr21*، *Sr24*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr36* یا *SrTmp* با این نژاد تفاوت دارند. به همین علت، پیشنهاد شده است هر کدام از این جورها به نام نژاد (race) و مجموع آنها به نام گروه نژادی Ug99 (Ug99 race group) نامیده شوند (Singh *et al*. 2015). علاوه بر گزارش گروه نژادی Ug99 از برخی مناطق جهان، در سال‌های اخیر نژادهای دیگری از قارچ عامل بیماری که پتانسیل بسیار بالایی برای ایجاد خطر و خسارت به گندم دارند، از برخی مناطق دیگر گزارش شده‌اند. از بین این نژادها می‌توان به نژاد TKTTF اشاره کرد که در سال زراعی ۱۴-۲۰۱۳ با ایجاد همه‌گیری روی متداول‌ترین رقم مورد کاشت در اتیوپی یعنی رقم دیگالو (Digalu) باعث از بین رفتن حدود ۱۰۰٪ محصول این رقم گردید (Olivera *et al*. 2015). در ایران نیز وجود برخی نژادهای قارچ عامل بیماری از جمله نژاد TTTTF که در دامنه وسیعی از کشور قابل مشاهده است، تهدیدی برای تولید گندم کشور به‌شمار می‌رود. مشاهدات نشان داده‌اند که به علت شیوع TTTTF و برخی نژادهای محلی دیگر در منطقه کلاردشت، بسیاری از ارقام و لاین‌های آزمایشی گندم برنامه‌های به‌نژادی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر که در برابر نژاد Ug99 در کنیا از مقاومت قبولی برخوردار بوده‌اند، در این منطقه در برابر بیماری حساس بوده‌اند. در کل، به‌نظرمی‌رسد که زنگ سیاه بار دیگر تولید گندم در سراسر جهان را تهدید می کند (Olivera *et al*. 2015; Bhattacharya 2017; Olivera *et al*. 2019; Omrani & Roohparvar 2021).

زنگ سیاه گندم به دلیل تغییرات در پرآزاری قارچ عامل بیماری و توانایی انتشار یوردوسپور در فواصل دور توسط باد، همیشه تهدیدی برای تولید گندم بوده است (Singh *et al*. 2015). همچنین، با توجه به بوم‌گیر (اندمی) بودن زنگ سیاه در بسیاری از مناطق کشور و حساس بودن بسیاری از ارقام گندم موردکاشت در برابر آن، وقوع شرایط جوی مساعد برای توسعه بیماری و به‌دنبال آن افزایش مایه قارچ عامل بیماری، می‌تواند به وقوع همه‌گیری بیماری در کشور منجر شود. برای مقابله با چنین اتفاقی، تولید و استفاده از ارقام گندم با عملکرد بالا و مقاوم به بیماری‌ها از جمله بیماری زنگ سیاه در اقلیم‌های مختلف کشور از برنامه‌های مهم بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌شمار می‌رود. اقلیم معتدل کشور که بخش‌های وسیعی از استان‌های خراسان رضوی، فارس، کرمانشاه، لرستان، اصفهان، کرمان، یزد، سمنان، تهران و البرز و مناطقی از استان‌های ایلام، چهارمحال و بختیاری، زنجان، همدان و سیستان و بلوچستان را به خود اختصاص می‌دهد، ضمن آنکه از شرایط مستعدی برای تولید گندم برخوردار است، از نظر آلودگی به زنگ‌های گندم از جمله زنگ سیاه در معرض خطر قرار دارد. به همین علت، همین کلیه ژنوتیپ‌های به‌دست آمده از برنامه‌های به‌نژادی این اقلیم از جمله لاین‌های امیدبخش آن نسبت به بیماری‌های مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرند تا امکان شناسایی لاین‌های مقاوم و انتخاب از بین آنها وجود داشته باشد.

در مقاله حاضر، نتایج حاصل از بررسی لاین‌های گندم امیدبخش مربوط به برنامه به‌نژادی اقلیم معتدل کشور در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ ارائه می‌گردد. نتایج ارائه شده، از بررسی‌های انجام شده روی واکنش لاین‌های آزمایشی در مرحله گیاهچه در شرایط گلخانه و واکنش آنها در مرحله گیاه کامل در شرایط مزرعه (منطقه کلاردشت) طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ برای لاین‌های دسته اول و دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ برای لاین‌های دسته دوم به‌دست آمده‌اند.

مواد و روش‌ها

جدایه‌های قارچ

چهار جدایه از قارچ عامل بیماری (*P. graminis* f. sp. *tritici*) که قبلاً از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری و در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر نگهداری می‌شدند (جدول ۱)، جهت انجام مایه‌زنی‌ها در گلخانه مورد استفاده قرار گرفتند. سه جدایه از چهار جدایه گفته شده، از منطقه کلاردشت که از مهمترین مناطق وجود بیماری زنگ سیاه است و جدایه چهارم که از نوع نژاد خطرناک Ug99 بود، از منطقه شاوور در خوزستان جمع‌آوری شده بودند. جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) جمع‌آوری شده از منطقه کلاردشت علاوه بر استفاده در گلخانه، جهت مایه‌زنی‌های مزرعه‌ای در کلاردشت نیز مورد استفاده قرار گرفت. این نژاد علاوه بر منطقه کلاردشت در بسیاری دیگر از مناطق کشور هم شایع است.

شایان ذکر است که روش فعلی تعیین نژادهای قارچ عامل زنگ سیاه که به سیستم نامگذاری آمریکای شمالی (Roelfs & Martens 1988; Jin *et al*. 2008) معروف است، فقط براساس

واکنش ۲۰ ژنوتیپ افتراقی گندم موسوم به مجموعه آمریکای شمالی (North American set) که هر کدام دارای یک ژن از بین ۲۰ ژن مقاومت گیاهچه‌ای *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr21*، *Sr24*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr36*، *Sr38*، *Sr17+13*، *SrMcN* و *SrTmp* هستند، انجام می‌شود. بنابراین، از بین همه ژن‌های مقاومت شناخته شده در برابر زنگ سیاه فقط این ۲۰ ژن در تعیین نژاد قارچ عامل بیماری و نامگذاری آن دخالت دارند. اساس این کار نیز بروز تیپ‌های آلودگی پایین (low infection type) یا تیپ‌های آلودگی بالا (high infection type) در ژنوتیپ‌های افتراقی مذکور و به عبارت دیگر بر مؤثر بودن یا غیر مؤثر بودن ژن‌های موجود در آنها در برابر جدایه‌های مورد آزمایش استوار است. با توجه به این امر و جهت مشخص کردن مؤثر بودن یا غیرمؤثر بودن ژن‌های مقاومت بیشتری از گندم در برابر جدایه‌های مورد آزمایش، معمولاً واکنش مجموعه تکمیلی (complementary set) ژنوتیپ‌های افتراقی گندم که حامل ژن‌هایی غیر از ۲۰ ژن مقاومت موجود در مجموعه آمریکای شمالی هستند، در برابر جدایه‌های مورد آزمایش تعیین می‌شود. بر این اساس و با توجه به واکنش مجموعه آمریکای شمالی و مجموعه تکمیلی ژنوتیپ‌های افتراقی در برابر هر یک از جدایه‌های مورد استفاده، اطلاعات مربوط به ژن‌های مقاومت مؤثر و غیرمؤثر در برابر جدایه‌های مذکور به‌صورت مرکب در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات جدایه‌های مورد استفاده در بررسی واکنش لاین‌های گندم نسبت به زنگ سیاه.

Table 1. Details of the isolates used to study the reaction of the wheat lines to stem rust.

Isolate code	Race	Origin	Ineffective/effective seedling resistance genes
94-32	TTTTF	Kelardasht, Mazandaran	*Sr5*, *Sr6*, *Sr7a*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr11*, *Sr12*, *Sr13*, *Sr14*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr19*, *Sr20*, *Sr21*, *Sr27*, *Sr28*, *Sr29*, *Sr30*, *Sr33*, *Sr34*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr37*, *Sr38*, *SrMcN*, *SrTmp/Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr31*, *Sr32*, *Sr39*, *Sr40*
94-15	PTRTF	Kelardasht, Mazandaran	*Sr5*, *Sr6*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr11*, *Sr12*, *Sr13*, *Sr14*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr19*, *Sr20*, *Sr25*, *Sr27*, *Sr28*, *Sr29*, *Sr34*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr37*, *Sr38*, *Sr39*, *SrMcN*, *SrTmp/Sr7a*, *Sr21*, *Sr22*, *Sr23*, *Sr24*, *Sr26*, *Sr30*, *Sr31*, *Sr32*, *Sr33*, *Sr40*
95-31	TKTTF	Kelardasht, Mazandaran	*Sr5*, *Sr6*, *Sr7a*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr12*, *Sr14*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr19*, *Sr20*, *Sr21*, *Sr23*, *Sr28*, *Sr29*, *Sr30*, *Sr34*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr37*, *Sr38*, *SrMcN*, *SrTmp/Sr13*, *Sr22*, *Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr27*, *Sr31*, *Sr32*, *Sr33*, *Sr39*, *Sr40*
95-2	TTKTK (Ug99)	Shavour, Khouzestan	*Sr5*, *Sr6*, *Sr7a*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr11*, *Sr12*, *Sr14*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr19*, *Sr20*, *Sr21*, *Sr23*, *Sr28*, *Sr29*, *Sr30*, *Sr31*, *Sr33*, *Sr34*, *Sr37*, *Sr38*, *SrMcN*, *SrTmp/Sr13*, *Sr22*, *Sr24*, *Sr25*, *Sr26*, *Sr27*, *Sr32*, *Sr35*, *Sr36*, *Sr39*, *Sr40*

لاین‌های گندم آزمایشی

در بررسی حاضر تعداد ۴۸ لاین گندم امیدبخش مربوط به برنامه به‌نژادی اقلیم معتدل کشور مشتمل بر ۲۰ لاین به‌دست آمده از این برنامه در سال ۱۳۹۴ (با نام ERWYT-M-94) و ۱۸ لاین دیگر به‌دست آمده در سال ۱۳۹۵ (با نام ERWYT-M-95) به همراه شاهد حساس به بیماری (رقم موراکو) مورد استفاده قرار گرفتند. اطلاعات و جزئیات مربوط به این لاین‌ها در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده‌اند.

بررسی مقاومت گیاهچه‌ای

برای انجام این بررسی، چهار تا شش بذر از هر ژنوتیپ آزمایشی در گلدان‌های به قطر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر که در آن‌ها مخلوط خاک معمولی و پیت ماس (به نسبت ۷۰٪ خاک معمولی و ۳۰٪ پیت ماس) ریخته شده بود، کاشته شدند. کشت بذرهای شاهد حساس موراکو نیز به همین ترتیب در گلدان‌های مربوطه انجام شد. این گلدان‌ها در گلخانه با دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و بعد از گذشت مدت ۸ تا ۱۰ روز، زمانی که برگ اول گیاهچه‌ها به خوبی توسعه یافت، اقدام به مایه‌زنی جداگانه آنها با اسپورهای هر یک از جدایه‌های قارچ عامل بیماری گردید. برای انجام مایه‌زنی، از سوسپانسیون اسپور ایزوله مورد نظر در حلال سالترول ۱۷۰ (Soltrol® 170) در دز ۱۰ میلی‌گرم اسپور در ۱۰ میلی‌لیتر روغن استفاده گردید. به منظور اطمینان از درستی داده‌های مورد جمع‌آوری، برای هر دسته از مواد مایه‌زنی شده با هر

جدایه، دو تکرار در نظر گرفته شد. گیاهچه‌های مایه‌زنی شده به مدت ۲۴ ساعت در اتاقک تاریک با شرایط دمایی ۲±۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نزدیک اشباع نگه داشته شدند و سپس به گلخانه با شرایط دمایی ۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد و ۱۶ ساعت روشنایی منتقل شدند. چهارده روز پس از مایه‌زنی، از تیپ آلودگی گیاهچه‌ها با استفاده از مقیاس 4-0 که توسط Stakman *et al*. (1962) معرفی و توسط McIntosh *et al*. (1995) اصلاح گردیده است، یادداشت‌برداری شد. مطابق این مقیاس، تیپ‌های آلودگی 0، ؛ 1 و 2 به معنای تیپ‌های آلودگی پایین (low infection type) و نشان‌دهنده مقاومت و تیپ‌های آلودگی 3 و 4 به معنای تیپ‌های آلودگی بالا (high infection type) و نشان‌دهنده حساسیت گیاه نسبت به بیماری در نظر گرفته می‌شوند.

بررسی مقاومت گیاه کامل

لاین‌های آزمایشی گندم از نظر مقاومت گیاه کامل در شرایط مزرعه در ایستگاه تحقیقات غلات کلاردشت در استان مازندران که محلی مناسب برای ظهور و توسعه زنگ سیاه است، مورد بررسی قرار گرفتند. لاین‌های آزمایشی سال ۱۳۹۴ در سال اول اجرای آزمایش (سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴) در شرایط آلودگی طبیعی مزرعه و در سال دوم (سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵) در شرایط مایه‌زنی مصنوعی و لاین‌های آزمایشی سال ۱۳۹۵ در هر دو سال اجرای آزمایش (سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) در شرایط مایه‌زنی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفتند. در هر سه سال زراعی گفته شده، جهت حفظ ساقه‌های سبز به مدتی طولانی‌تر در انتهای فصل و در نتیجه بالا بردن احتمال دریافت بیماری، لاین‌های مورد آزمایش با حدود دو ماه تأخیر نسبت به زمان کاشت منطقه کاشته شدند. در همه سال‌های اجرای آزمایش، هر کدام از لاین‌های آزمایشی به میزان حدود هفت گرم بذر روی یک خط یک متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متری از لاین دیگر کاشته شدند. همچنین، با هدف گسترش بیماری و پخش آن در خزانه‌های آزمایشی، به فاصله هر ۱۰ لاین آزمایشی و نیز پیرامون خزانه‌ها رقم حساس موراکو کاشته شد. در ضمن، عملیات رایج زراعی به منظور رساندن مواد کاشته شده به مرحله گیاه کامل انجام گردید. با توجه به برنامه مایه‌زنی مصنوعی خزانه‌ها در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶، این عملیات اوایل سنبله‌دهی اکثریت بوته‌های گندم، به‌ترتیب در تاریخ‌های ۹۶/۰۲/۲۰ و ۹۷/۰۳/۲۰ با استفاده از جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) قارچ که قبلاً از منطقه کلاردشت جمع‌آوری شده و پس از خالص‌سازی در گلخانه تکثیر شده بود، انجام گردید. مایه‌زنی گیاهان آزمایشی از طریق پاشیدن مخلوطی از اسپورهای قارچ و پودر تالک (به نسبت یک گرم اسپور در یک کیلوگرم پودرتالک) روی گیاهان در نزدیکی‌های غروب، با استفاده از اسپورپاش موتوری پشتی و در حجمی انجام شد که از دریافت مخلوط اسپور و پودر تالک توسط گیاهان اطمینان حاصل شود. یادداشت‌برداری از شدت بیماری در اواخر مرحله خمیری نرم که ساقه‌ها از رنگ سبز به رنگ کاهی می‌گراییدند، با توجه به درصد پوشیده شدن ساقه توسط جوش‌های زنگ سیاه بر اساس مقیاس اصلاح شده کاب (Modified Cobb scale) (Peterson *et al*. 1948) در مقیاس ۱۰۰-۰ انجام گردید. همزمان، یادداشت‌برداری از واکنش گیاه به آلودگی یعنی تعیین تیپ‌های آلودگی مقاومت (R)، نیمه مقاومت (MR)، نیمه حساسیت (MS) و حساسیت (S) بر اساس روش پیشنهادی Roelfs *et al*. (1992) انجام گردید.

نتایج و بحث

بررسی واکنش لاین‌های آزمایشی سال‌های ۹۴ و ۹۵ در برابر چهار جدایه از قارچ عامل بیماری در مرحله گیاهچه، نشان‌دهنده واکنش‌های متفاوت آنها در برابر این جدایه‌ها بود (جدول‌های ۲ و ۳). نتایج نشان داد در حالی‌که بیشتر لاین‌های آزمایشی با بروز تیپ آلودگی پایین (0 تا 2) در برابر جدایه 94-15 (نژاد PTRTF) و بعد از آن در برابر جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) مقاومت داشتند، فقط چند لاین در برابر جدایه 2-95 (نژاد TTKTK) واکنش مشابهی داشتند. از نظر تعداد لاین‌های دارای مقاومت در برابر جدایه 31-95 (نژاد TKTTF) نیز وضعیت بینابین وجود داشت. این تفاوت‌ها انعکاسی از تفاوت بین جدایه‌های قارچ عامل بیماری و لاین‌های آزمایشی گندم و تفاوت در روابط بین میزبان-پاتوژن می‌باشد.

بررسی واکنش لاین‌های آزمایشی نسبت به جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) نشان داد که ۱۷ لاین به شماره‌های ۱ (شاهد تجاری پارسی)، ۲ (شاهد تجاری بهاران)، ۳، ۴، ۶، ۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ از لاین‌های سال ۹۴ و ۱۲ لاین به شماره‌های ۱ (شاهد تجاری رخشان)، ۲ (شاهد تجاری بهاران)، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۴، ۱۵ و ۱۷ از لاین‌های سال ۹۵ با نمایش تیپ‌های آلودگی پایین، نسبت به این جدایه از قارچ دارای مقاومت می‌باشند (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به اینکه ۳۵ ژن مقاومت شامل *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*،

Sr13، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* در برابر این جدایه غیرمؤثر هستند (جدول ۱)، مقاومت لاین‌های گفته شده در برابر آن باید از ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها ناشی شده باشد. این احتمال وجود دارد که ژن‌های مقاومت مؤثر شناخته شده در برابر این جدایه یعنی *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr39* و *Sr40* (جدول ۱) یا ژن‌های مقاومت مؤثر ناشناخته دیگری در این امر دخالت داشته باشند.

از نظر واکنش در برابر جدایه 15-94 (نژاد PTRTF)، همه لاین‌های سال ۹۴ به همراه ۱۳ لاین به شماره‌های ۱ (شاهد تجاری رخشان)، ۲ (شاهد تجاری بهاران)، ۳، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ از لاین‌های سال ۹۵ دارای تیپ‌های آلودگی پایین بوده و به تبع آن دارای مقاومت بودند (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به اینکه ۳۳ ژن مقاومت شامل *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr13*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr25*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *Sr39*، *SrMcN* و *SrTmp* در برابر این جدایه غیرمؤثر هستند (جدول ۱)، باید ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها در ایجاد مقاومت این لاین‌ها نسبت به این جدایه دخالت داشته باشند. با توجه به مؤثر بودن ژن‌های مقاومت *Sr7a*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr23*، *Sr24*، *Sr26*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33* و *Sr40* در برابر این جدایه (جدول ۱)، این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت مؤثر ناشناخته دیگری در می‌توانند این امر دخالت داشته باشند.

براساس نتایج بررسی واکنش لاین‌های آزمایشی نسبت به جدایه 31-95 (نژاد TKTTF)، نشان داد که ۸ لاین به شماره‌های ۲ (شاهد تجاری بهاران) ۳، ۵، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۷ از لاین‌های سال ۹۴ و ۱۱ لاین به شماره‌های ۱ (شاهد تجاری رخشان)، ۷، ۸، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ از لاین‌های سال ۹۵ نسبت به این جدایه دارای مقاومت بودند (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به غیرمؤثر بودن ۳۲ ژن مقاومت شامل *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr12*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr34*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* در برابر این جدایه از قارچ (جدول ۱)، مقاومت لاین‌های گفته شده در برابر آن باید از ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها ناشی شده باشد. در این ارتباط، ممکن است ژن‌های مقاومت مؤثر شناخته شده در برابر این جدایه یعنی *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40* (جدول ۱) یا ژن‌های مقاومت مؤثر ناشناخته دیگری دخالت داشته باشند.

در ارتباط با واکنش لاین‌های آزمایشی نسبت به جدایه 95-2 (نژاد TTKTK) که یکی از جورهای گروه نژادی Ug99 به‌شمار می‌رود، فقط لاین شماره ۱۳ از لاین‌های سال ۹۴ و سه لاین به شماره‌های ۱ (شاهد تجاری رخشان)، ۱۴ و ۱۶ از لاین‌های سال ۹۵ نسبت به این جدایه دارای مقاومت بودند (جدول‌های ۲ و ۳). با توجه به غیرمؤثر بودن ۳۳ ژن مقاومت شامل *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr8b*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr12*، *Sr14*، *Sr15*، *Sr16*، *Sr17*، *Sr18*، *Sr19*، *Sr20*، *Sr21*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr37*، *Sr38*، *SrMcN* و *SrTmp* در برابر این جدایه (جدول ۱)، مقاومت لاین‌های مذکور در برابر آن باید از ژن‌هایی غیر از این ژن‌ها ناشی شده باشد. با توجه به مؤثر بودن ژن‌های مقاومت *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr32*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr39* و *Sr40* در برابر این جدایه (جدول ۱)، ممکن است این ژن‌ها یا ژن‌های مقاومت مؤثر ناشناخته دیگری در این امر دخالت داشته باشند.

در بررسی مقاومت گیاه کامل نسبت به بیماری در شرایط مزرعه (جدول‌های ۱ و ۲)، به استثنای چهار لاین به شماره‌های ۶، ۷، ۸ و ۱۲ از لاین‌های سال ۹۴ که همانند شاهد حساس به بیماری (Morocco) میزان بیماری آنها طی دو سال اجرای آزمایش حداکثر به 100S رسید و بنابراین ممکن است فاقد هر گونه ژن مقاومت به بیماری اعم از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه کامل باشند، بقیه لاین‌های آزمایشی در مقایسه با شاهد حساس دارای میزان بیماری کمتری بودند. از بین لاین‌های با میزان بیماری کمتر، چهار لاین به شماره‌های ۲ (شاهد تجاری بهاران)، ۵، ۱۵ و ۱۶ از لاین‌های سال ۹۴ و سه لاین به شماره‌های ۲ (شاهد تجاری بهاران)، ۹ و ۱۵ از لاین‌های سال ۹۵ که حداکثر بیماری کسب شده توسط آنها طی سال‌های اجرای آزمایش در دامنه 40MS تا 60MSS قرار داشت، در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی حساسیت خیلی کمتری در برابر بیماری نشان دادند. دو شاهد تجاری پارسی و رخشان به ترتیب با حداکثر میزان بیماری 70MS و 80MS و بسیاری از دیگر با میزان بیماری نزدیک به آنها نیز در وضعیت مشابهی قرار داشتند.

رقم پارسی به‌علت دارا بودن پتانسیل عملکرد بالا، مقاومت نسبت به زنگ زرد، مقاومت در برابر زنگ سیاه (نژاد Ug99)،

خصوصیات خوب زراعی و کیفیت نانوایی خیلی خوب در سال ۱۳۸۸ برای کاشت در مزارع آبی مناطق معتدل کشور معرفی شده است (Najafian *et al*. 2010; Malihipour *et al*. 2020b). بر اساس نتایج بررسی حاضر، این رقم در مرحله گیاهچه در برابر جدایه 4-88 (نژاد TTKSK متعلق به گروه نژادی Ug99) جمع‌آوری شده از منطقه دشت آزادگان (خوزستان) دارای تیپ آلودگی بالا (Afshari 2012; Patpour *et al*. 2014a)، در برابر جدایه‌ای از منطقه کلاردشت (نژاد KRKSC) نیز دارای تیپ آلودگی بالا (Afshari 2012) و در برابر برخی جدایه‌های جمع-آوری شده از مناطق دیگر کشور دارای تیپ‌های آلودگی متفاوت (Patpour *et al*. 2014a) بوده است. براین اساس، این رقم در زمان معرفی در سال ۱۳۸۹ در برابر نژاد Ug99 واکنش خیلی پایین داشته است. همچنین، براساس نتایج بررسی‌های انجام شده در شرایط آلودگی طبیعی مزرعه، واکنش این رقم طی دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ در کلاردشت به-ترتیب 10MR و 5R (Afshari 2012) و در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در همان منطقه 10RMR (Patpour *et al*. 2014a) بوده و طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مناطق مختلف کشور تا 90MSS نیز رسیده است (ع. ملیحی‌پور، *اطلاعات منتشر نشده*). بررسی‌های مزرعه‌ای انجام شده در مرحله گیاه کامل، نشان‌دهنده وجود ژن مقاومت گیاه کامل *Sr2* به همراه ژن ناشناخته دیگری در این رقم بوده است (Joshi *et al*. 2011). با توجه به این امر و با توجه به میزان بیماری کسب شده توسط رقم پارسی (تا 90MSS)، به‌نظر می-رسد که اثر ژن مقاومت *Sr2* روی کاهش بیماری آنچنان زیاد نیست. با این تفسیر، احتمال دارد که هر کدام از لاین‌های آورده شده در جدول‌های ۱ و ۲ که در مقایسه با شاهد حساس (با میزان بیماری 100S) حتی به‌طور جزئی دارای میزان بیماری کمتری هستند، دارای ژن مقاومت گیاه کامل باشند.

رقم بهاران به‌علت دارا بودن پتانسیل عملکرد بالا، کیفیت نانوایی خیلی خوب، زودرس بودن و تحمل به خشکی آخر فصل در سال ۱۳۹۳ برای کاشت در مزارع آبی مناطق معتدل کشور معرفی شده است (Najafian *et al*. 2017; Malihipour *et al*. 2020b). در حالی‌که میزان بیماری این رقم در زمان معرفی براساس اطلاعات دو سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ و ۹۱-۱۳۹۰ در منطقه کلاردشت متغیر از 0 تا 5R اعلام شده است (Najafian *et al*. 2017)، میزان بیماری آن در بررسی حاضر تا 60MSS نیز رسیده است (جدول‌های ۱ و ۲). در بررسی‌های دیگر انجام شده طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مناطق مختلف کشور، این رقم دارای میزان بیماری تا 80MSS نیز بوده است (ع. ملیحی‌پور، *اطلاعات منتشر نشده*). وجود بلوک ژنی *LR26/Yr9/Sr31/Pm8* نیز در رقم بهاران به اثبات رسیده است (Najafian *et al*. 2017). با توجه به پرآزاری جدایه 95-2 (نژاد TTKTK) روی ژن مقاومت *Sr31* (جدول‌های ۱ و ۲)، حساسیت بالای این رقم در مرحله گیاهچه در برابر این جدایه نشان‌دهنده عدم وجود هر گونه ژن مقاومت گیاهچه‌ای دیگر مؤثر در برابر این جدایه در این رقم است. در هر حال، میزان بیماری نسبتاً کمتر این رقم در برابر بیماری در مرحله گیاه کامل، ممکن است از وجود ژن یا ژن‌های مقاومت گیاه کامل ناشی شده باشد، گرچه تاکنون گزارشی در این مورد منتشر نشده است.

رقم رخشان به‌علت دارا بودن پتانسیل عملکرد بالا، مقاومت به زنگ‌ها، کیفیت نانوایی خوب و زودرسی نسبی در سال ۱۳۹۴ برای کاشت در مزارع آبی مناطق معتدل کشور معرفی شده است (Najafian *et al*. 2018; Malihipour *et al*. 2020b). براساس اطلاعات آورده شده جهت معرفی این رقم، میزان بیماری آن در شرایط مزرعه در کشور کنیا در شرایط آلودگی شدید زنگ سیاه (نژاد Ug99) در حد 40MR بوده است. در هر حال، میزان بیماری کسب شده توسط این رقم در بررسی حاضر تا 80MS و نیز در بررسی‌های انجام شده طی سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تا 80MSS (ع. ملیحی‌پور، *اطلاعات منتشر نشده*) رسیده است. با توجه به اثبات وجود ژن مقاومت گیاهچه‌ای *Sr24* در این رقم (Njau *et al*. 2011) و پرآزار نبودن هیچکدام از جدایه‌های مورد استفاده در این بررسی روی ژن *Sr24*، می‌توان واکنش‌های پایین این جدایه‌ها روی رقم رخشان را توضیح داد. همچنین، با توجه به وجود ژن مقاومت گیاه کامل *Sr2* در این رقم (Njau *et al*. 2011)، ممکن است بتوان علت پایین آمدن بیماری در مرحله گیاه کامل در مقایسه با شاهد حساس را اقلاً تا حدی به آن نسبت داد.

جدول ۲. مشخصات لاین‌های گندم امیدبخش معتدل کشور در سال ۱۳۹۴ (ERWYT-M-94) و واکنش آنها در برابر زنگ سیاه در مراحل گیاهچه در شرایط گلخانه و گیاه کامل در شرایط مزرعه در کلاردشت.

Table 2. Characteristics of the moderate agro-climate zone elite wheat lines in 2015 (ERWYT-M-94) and their reaction to stem rust at seedling stage in the greenhouse and at adult-plant stage under field conditions in Kelardasht, Mazandaran.

Wheat	Pedigree	Seedling reactions to different				Adult-plant	
		94-32	94-15	95-31	95-2	1395	1396
M-94-1	Parsi (Commercial check)	2+	1+	3	3	30MS	70MS
M-94-2	Baharan (Commercial check)	1	1	;1	3	10MR	40MS
M-94-3	M-90-16 (Sharpp/3/Prl/Sara//Tsi/Vee#5/5/Vee/Lira//Bow/3/BCN/4/Kauz)	2	1+	1	3	20MS	80MS
M-94-4	M-91-10 (Prl/2*Pastor/4/Choix/Star/3/He1/3*CNO79//2*Seri)	2+	2+	3	3	50MS	70MS
M-94-5	M-91-18 (Pastor//Site/MO/3/Chen/Aegilops squarrosa (Taus)//BCN/4/WBLL1)	-	1	3-	3	60MS	40MS
M-94-6	Pishtaz/7/T.Aest/5/Ti/4/La/3/Fr/Kad//Gb/6/F13471/Crow"	2+	2-	3	3+	70S	100S
M-94-7	Pishtaz/7/T.Aest/5/Ti/4/La/3/Fr/Kad//Gb/6/F13471/Crow"	3-	2+	3	3+	60MS	100S
M-94-8	1-66-22//Bow"s"/Crow"s"/3/Kavir/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/ Y50E/3*Kal//Emu/6/Pishtaz	3	2+	3	3	60MS	100S
M-94-9	Spn/Mcd//Cama/3/Nzr/4/Passarinho/5/Yaco/2*Parus/6/Pishtaz	3+	2+	2+	3+	40MS	90S
M-94-10	ATTILA/3/Vee/Nac//1-66-22/4/Flt/Tjn//Kavkaz	3-	2+	2+	3	60MS	90S
M-94-11	ATTILA/3/Vee/Nac//1-66-22/4/Flt/Tjn//Kavkaz	2	2+	2+	3	50MS	90S
M-94-12	ATTILA/3/Vee/Nac//1-66-22/4/Flt/Tjn//Kavkaz	3-	2	2+	3	60MS	100S
M-94-13	TEVEE-1/GRU90-207476//2*CHAMRAN	2	2+	3	2+	30MS	90S
M-94-14	KAUZ/LUCO-M//PVN/STAR/3/Yaco/2*Parus/4/Pishtaz	2	2	3	3	20MS	90S
M-94-15	FRNCLN/ROLF07	2+	2+	3	3	20MS	60MS
M-94-16	MUU/KBIRD	2	2	3	3+	20MS	60MS
M-94-17	ATTILA*2/PBW65*2/4/BOW/NKT//CBRD/3/CBRD	2	2	3-	3	10MR	80MS
M-94-18	D67.2/PARANA 66.270//AE.SQUARROSA (320)/3/CUNNINGHAM/4/VORB	2	2	3	3	50MS	90S
M-94-19	VORB/SOKOLL	3-	1+	3	3	60MS	90S
M-94-20	KS85W663.42/MONARCA F2007//WBLL1*2/TUKURU	2	1	3	3	20MS	80MS
21	Morocco (Susceptible check)	4	4	3+	4	100S	100S

جدول ۳. مشخصات لاین‌های گندم امیدبخش معتدل کشور در سال ۱۳۹۵ (ERWYT-M-95) و واکنش آنها در برابر زنگ سیاه در مراحل گیاهچه در شرایط گلخانه و گیاه کامل در شرایط مزرعه در کلاردشت.

Table 3. Characteristics of the moderate agro-climate zone elite wheat lines in 2016 (ERWYT-M-95) and their reaction to stem rust at seedling stage in the greenhouse and at adult-plant stage under field conditions in Kelardasht, Mazandaran.

Wheat line	Pedigree	Seedling reactions to different isolates				Adult-plant reactions	
		94-32	94-15	95-31	95-2	1396	1397
M-95-1	Rakhshan (Commercial check)	2-	2-	1	2-	80MS	60MSS
M-95-2	Baharan (Commercial check)	;1	;1	3	3	5MR	60MSS
M-95-3	M-92-18 (MTRAW92.161/Prinia/5/Seri*3//RL6010/4*Yr/3/Pastor/4/Bav92)	2C	;1	3	3	20MR	80S
M-95-4	M-92-20 (Chen/Aegilops squarrosa (Taus)//BCN/3/Bav92/4/Berkut)	2C	;1	3	3	30MS	70S
M-95-5	KASYON/GENARO.81//TEVEE-1/5/ Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal//Emu/6/OASIS/SKAUZ//4*BCN*2/3/PASTOR	2+	4	3	3+	90S	90S
M-95-6	Alvd/Bcn//Atrak/3/m-84-17	2+	3	3	3+	40S	80S
M-95-7	Alvd//Aldan/Ias58/3/40-73-17/4/1-73-240	1+	;1	2+	4	30MS	70MSS
M-95-8	Pishtaz/6/M-70-4/5/Alborz/4/K 6290914/Cno//K58/Tob/3/Wa/7/1-74-103	2-	2+	2-	3	50MS	70MSS
M-95-9	CHAM-4/DOVIN-2*2/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal//Emu	;	;	0	3	5MR	60MRMS
M-95-10	WBLL1*2/VIVITSI//AKURI/3/WBLL1*2/BRAMBLING	3	3	3+	3	70MS	80S
M-95-11	KAUZ/PASTOR//PBW343/3/KIRITATI/4/FRNCLN	3	3	3	3	80MS	70S
M-95-12	SUP152//WBLL1*2/BRAMBLING	3	2+	2	3	30MS	80S
M-95-13	WBLL1*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/BAJ #1/6/QUAIU #3	3	1	1+	3	40MS	70S
M-95-14	CHYAK/PAURAQ	2	1	1	2+	5MR	70MS
M-95-15	NL1048/4/CHIBIA//PRLII/CM65531/3/SKAUZ/BAV92	2C	1	1	3	10MR	60MRMS
M-95-16	QUAIU #1//TOBA97/PASTOR/3/QUAIU	3	1	1+	2	60MS	80S
M-95-17	SUP152*2/TECUE #1	2	3	3	3	20MS	70S
M-95-18	TUKURU//BAV92/RAYON*2/3/KIRITATI	3	;1	;1	3	20MS	80S
19	Morocco (Susceptible check)	4	3	3	3+	100S	100S

در بررسی حاضر، با وجود مقاومت بسیاری از لاین‌های آزمایشی در مرحله گیاهچه در برابر جدایه‌های جمع‌آوری شده از کلاردشت از جمله جدایه 32-94 (نژاد TTTTF) که طی دو سال جهت مایه‌زنی‌های مرحله گیاه کامل در این منطقه نیز استفاده شده بود، ظاهراً هیچکدام از آنها نشانه‌ای از مقاومت کیفی و کامل که ناشی از عمل ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای باشد، نداشتند. علت این امر ممکن است به وجود و شیوع نژاد یا نژادهایی از قارچ عامل بیماری در زمان گیاه کامل در منطقه کلاردشت مربوط باشد که در بررسی‌های گلخانه‌ای مورد استفاده نبوده‌اند. چنین نژاد(هایی) ممکن است در زمان جمع‌آوری جدایه‌ها جهت بررسی‌های گلخانه‌ای خارج از دسترس بوده و بعداً در زمان آزمایشات مزرعه‌ای در منطقه شایع شده باشند. مقاومت گیاهچه‌ای که وجود آن در گیاه معمولاً باعث محافظت از گیاه در برابر بیماری تا پایان عمر آن می‌شود، از نظر وراثت در گیاه دارای ماهیت کیفی بوده و به‌صورت اختصاصی نژاد عمل می‌کند (McDonald & Linde 2002). به‌نظر می‌رسد که لاین‌های آزمایشی با میزان بیماری کمتر در مرحله گیاه کامل به‌ویژه سه لاین به شماره‌های ۵، ۱۵ و ۱۶ از لاین‌های سال ۹۴ و دو لاین ۹ و ۱۵ از لاین‌های سال ۹۵ ممکن است دارای ژن یا ژن‌های مقاومت گیاه کامل باشند. انجام بررسی‌های بیشتر در این ارتباط، به‌ویژه استفاده از روش‌های مولکولی ممکن است به درک بهتر موضوع کمک کند.

استفاده از ارقام مقاوم مؤثرترین، سالم‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای کنترل زنگ‌هاست و برخلاف روش‌های شیمیایی خطرات زیست‌محیطی نیز ندارد. در برنامه به‌نژادی اقلیم معتدل تلاش می‌شود از طریق بررسی همه مواد به‌نژادی از جمله لاین‌های امیدبخش این اقلیم نسبت به بیماری زنگ سیاه در یکی از کانون‌های این بیماری در کشور یعنی کلاردشت، لاین‌های مقاوم به بیماری شناسایی شده و از داده‌های به‌دست آمده همراه با داده‌های مربوط به سایر بیماری‌های مهم، عملکرد دانه، خصوصیات زراعی و کیفیت نانوایی برای معرفی ارقام جدید گندم استفاده شود. البته قصد بر این است که بعد از اتمام آزمایش حاضر، لاین‌های آزمایشی به‌دست آمده در بخش تحقیقات غلات به‌ویژه لاین‌های امیدبخش در سال‌های بعد علاوه بر کلاردشت اقلاً در یکی از دو منطقه اردبیل یا بروجرد نیز مورد بررسی قرار گیرند تا از طریق قرار گرفتن آنها در محیط‌های متفاوت و در برابر نژادهای بیشتری از قارچ عامل بیماری، اطمینان داده‌های به‌دست آمده از چنین بررسی‌هایی افزایش یابد. در هر حال، بررسی حاضر نشان داد که میزان زنگ سیاه ارقام پارسی، بهاران و رخشان در منطقه کلاردشت یا سایر مناطق کشور به‌ترتیب به حداکثر مقادیر 90MSS، 80MSS و 80MSS نیز رسیده است. در سال‌های اخیر دو لاین به شماره‌های ۱۴ و ۱۵ از لاین‌های سال ۹۴ به‌ترتیب با نام‌های امین و فرین در سطح اقلیم معتدل معرفی شده و لاین شماره ۱۰ از لاین‌های سال ۹۵ نیز در فرآیند نامگذاری و معرفی قرار دارد. همان‌طوری که در جدول‌های ۱ و ۲ ملاحظه می‌شود این سه ژنوتیپ طی سال‌های آزمایش در منطقه کلاردشت به‌ترتیب حداکثر مقادیر بیماری 90S، 80S و 80S را کسب کرده‌اند. مسلماً میزان بیماری پنج رقم معرفی شده و یک لاین در دست معرفی برای اقلیم معتدل بسیار بالاست و وجود یا عدم وجود ژن‌های مقاومت گیاه کامل نیز تأثیر خاصی بر کلیت موضوع ندارد. با توجه به این امر و با توجه به خطر بالقوه زنگ سیاه برای ارقام گندم مورد کاشت برای این اقلیم، لازم خواهد بود اقدامات احتیاطی لازم از جمله تدارکات مبارزه شیمیایی برای حفاظت از این ارقام در مناطق مورد کشت آنها در نظر گرفته شود. همچنین، لازم خواهد بود در برنامه به‌نژادی این اقلیم توجه بیشتری به بررسی مقاومت نسبت به زنگ سیاه و معرفی ارقام مقاوم در این اقلیم معطوف شود. ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های آزمایشی یکی از بررسی‌های معمول در برنامه‌های به‌نژادی است که به‌طور پیوسته توسط افراد و نهادهای درگیر در معرفی ارقام جدید انجام می‌شود. این نوع بررسی‌ها بخش مهمی از برنامه به‌نژادی دو مرکز بین‌المللی مهم اصلاح گندم یعنی مرکز بین‌المللی اصلاح گندم و ذرت (CIMMYT) و مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) را نیز تشکیل می‌دهند. در ایران طی یکی دو دهه گذشته و با اهمیت یافتن مجدد زنگ سیاه در کشور، بررسی‌های متعددی در ارتباط با ارزیابی مقاومت به این بیماری انجام و نتایج برخی از آنها منتشر شده است (Afshari 2012; Mojerlou *et al*. 2012; Nazari & Mafi 2013; Patpour *et al*. 2014a, 2014b; Omrani *et al*. 2017, 2018; Safavi & Malihipour 2018, 2020; Malihipour *et al*. 2020a; Saremirad *et al*. 2021). استفاده از این نتایج نیز می‌تواند به تقویت برنامه‌های به‌نژادی کشور و معرفی ارقام مقاوم‌تر کمک کند.

سپاسگزاری

از دکتر رامین روح‌پرور استادیار بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌خاطر فراهم نمودن ایزوله‌های قارچی و اطلاعات آنها، مهندس علی ناظری و مهندس فرنو ملک‌پور به ترتیب رییس و کارشناس ایستگاه تحقیقات کشاورزی کلاردشت به‌خاطر کمک در اجرای آزمایشات مزرعه‌ای در آن ایستگاه و خانم مهندس زهره حسن-

بیات و مهندس اسمعیل ابراهیمی میمند کارشناسان بخش تحقیقات غلات به‌خاطر کمک در اجرای آزمایشات گلخانه‌ای در کرج سپاسگزاری می‌شود. هزینه‌های اجرای این تحقیق از محل اعتبارات پروژه‌های تحقیقاتی شماره‌های ۹۴۲۶۳-۰۳-۰۳-۲ و ۰-۰۳-۰۳-۱۸۹-۹۵۹۵۰۷۲۲ مصوب مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین شده است.

References

Admassu B, Lind V, Friedt W, Ordon F, 2009. Virulence analysis of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* populations in Ethiopia with special consideration of Ug99. *Plant Pathology* 58: 362–369.

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

Bamdadian A, Torabi M, 1978. Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. *Iranian Journal of Plant Pathology* 14: 14–19 (In Persian).

Bhattacharya S, 2017. Deadly new wheat disease threatens Europe's crops. *Nature* 542: 145–146. DOI: 10.1038/nature.2017.21424.

Esfandiari E, 1947. Cereal rusts in Iran. *Journal of Entomology & Phytopathology* 4: 67–76 (In Persian with English abstract).

Fetch T, Zegeye T, Park RF, Hodson D, Wanyera R, 2016. Detection of wheat stem rust races TTHSK and PTKTK in the Ug99 race group in Kenya in 2014. *Plant Disease* 100: 1495–1495.

Hafeez AN, Arora S, Ghosh S, Gilbert D, Bowden RL, *et al*., 2021. Creation and judicious application of a wheat resistance gene atlas. *Molecular Plant* 14: 1053–1070. DOI: 10.1016/j.molp.2021.05.014.

Jin Y, Szabo LJ, Pretorius ZA, Singh RP, Ward R, *et al*., 2008. Detection of virulence to resistance gene *Sr24* within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 92: 923–926.

Joshi AK, Azab M, Mosaad M, Moselhy M, Osmanzai M, *et al*., 2011. Delivering rust resistant wheat to farmers: A step towards increased food security. *Euphytica* 179: 187–196.

Kumar K, Jan I, Saripalli G, Sharma PK, Mir RR, *et al*., 2022. An update on resistance genes and their use in the development of leaf rust resistant cultivars in wheat. *Frontiers in Genetics* 13. DOI: 10.3389/fgene.2022.816057.

Malihipour A, Ebrahimi-Meymand E, Mostafavi K, 2020a. Investigation on effectiveness of wheat stem rust resistance genes and the latest response of wheat genotypes from the cold agro-climatic zone of Iran to the disease. *Iranaian Journal of Plant Pathology* 56: 69–97 (In Persian with English abstract). DOI: 10.22034/ijpp.2020.43624.

Malihipour A, Esmaeilzadeh Moghaddam M, Najafian G, Roustaei M, Najafi Mirak T, *et al*., 2020b. Iranian Wheat Cultivars (Released from 1931 to 2019). Nashr-e Amouzesh-e Keshavarzi, Karaj, Alborz Province, Iran. 172 pp.

McDonald BA, Linde C, 2002. The population genetics of plant pathogens and breeding strategies for durable resistance. *Euphytica* 124: 163–180.

McIntosh RA, Dubcovsky J, Rogers J, Morris C, Xia XC, 2017. Catalogue of gene symbols for wheat. Available at: 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, Victoria, Australia. 200 pp.

Mojerlou Sh, Safaei N, Abasi Moghadam A, Shamasbakhsh M, 2012. Evaluation of some Iranian wheat landraces resistance against stem rust disease at seedling stage in the greenhouse. *Journal of Plant Protection* 35: 69–82 (In Persian with English abstract).

Najafian G, Amin H, Afshari F, Pazhoumand ME, Dadaeen M, *et al*., 2010. Parsi, a new bread wheat cultivar, resistant to stem rust (race Ug99) with good bread making quality for cultivation under irrigated conditions of temperate regions of Iran. *Seed & Plant Improvement Journal* 26: 289–292 (In Persian with English abstract).

Najafian G, Bakhtiar F, Nazeri A, Afshari F, Ghandi A, *et al*., 2018. Rakhshan, new bread wheat cultivar, with high grain yield potential, resistance to wheat rusts and good bread making quality and suitable for irrigated conditions in temperate agro-climatic zone of Iran. *Research Achievements for Field &*

Horticulture Crops 7: 31–47 (In Persian with English abstract).

Najafian G, Khodarahmi M, Bakhtiar F, Nikooseresht R, Nikzad AR, *et al*., 2017. Baharan, new bread wheat cultivar, tolerant to terminal drought with good bread making quality, recommended for irrigated conditions of temperate regions of Iran. *Research Achievements for Field & Horticulture Crops* 6: 1–11 (In Persian with English abstract).

Nazari K, Mafi M, 2013. Physiological races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Iran and evaluation of seedling resistance to stem rust in Iranian wheat cultivars. *Phytopathologia Mediterranea* 52: 110–122.

Nazari K, Mafi M, Yahyaoui A, Singh RP, Park RF, 2009. Detection of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) race TTKSK (Ug99) in Iran. *Plant Disease* 93: 317.

Newcomb M, Olivera PD, Rouse MN, Szabo LJ, Johnson J, *et al*., 2016. Kenyan isolates of *Puccinia graminis* f. sp *tritici* from 2008 to 2014: Virulence to *SrTmp* in the Ug99 race group and implications for breeding programs. *Phytopathology* 106: 729–736.

Njau PN, Wanyera R, Singh D, Gethi M, 2011. Release of stem rust resistant varieties for commercial production in Kenya. In *Proceedings of the 8th International Wheat Conference*, 298. St. Petersburg, Russia.

Olivera PD, Newcomb M, Szabo LJ, Rouse M, Johnson J, *et al*., 2015. Phenotypic and genotypic characterization of race TKTTF of *Puccinia graminis* f. sp *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013–14. *Phytopathology* 105: 917–928. DOI: 10.1094/phyto–11–14–0302–fi.

Olivera PD, Sikharulidze Z, Dumbadze R, Szabo LJ, Newcomb M, *et al*., 2019. Presence of a sexual population of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in georgia provides a hotspot for genotypic and phenotypic diversity. *Phytopathology* 109: 2152–2160. DOI: 10.1094/PHYTO–06–19–0186–R.

Omrani A, Roohparvar R, 2021. Occurence of the TTKSK (Ug99) race of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* from northwest of Iran (Hashtrood region). *Journal of Applied Research in Plant Protection* 10: 91–93.

Omrani A, Aharizad S, Roohparvar R, Khodarahmi M, Toorchi M, 2017. Identification of stem and leaf rust resistance genes in some promising wheat lines using molecular markers. *Crop Biotechnology* 15–25 (In Persian with English abstract).

Omrani A, Aharizad S, Roohparvar R, Khodarahmi M, Toorchi M, 2018. Virulence factors of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) isolates and identification of resistance sources in CIMMYT wheat synthetic genotypes. *Journal of Crop Breeding* 10: 84–93 (In Persian with English abstract).

Patpour M, Nazari K, Alavi SM, Mousavi A, 2014a. Detection of resistance sources to Iranian prevalent stem rust races in commercial wheat cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal* 30: 133–154 (In Persian with English abstract).

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

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

Pretorius ZA, Singh RP, Wagoire WW, Payne TS, 2000. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene Sr31 in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. *Plant Disease* 84: 203.

Roelfs AP, Martens JW, 1988. An international system of nomenclature for *P. graminis* f. sp. *tritici*. *Phytopathology* 78: 526–533.

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

Safavi SA, Malihipour A, 2018. Effective and ineffective resistance genes and reaction of promising wheat lines to stem rust in Ardabil. *Journal of Crop Protection* 7: 415–427.

Safavi SA, Malihipour A, 2020. Partial resistance of some wheat cultivars and candidate lines against stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). *Plant Protection* 43: 31–52 (In Persian with English abstract).

Saremirad A, Bihamta MR, Malihipour A, Mostafavi Kh, Alipour H, 2021. Evaluation of resistance of some Iranian spring bread wheat cultivars to stem rust disease at seedling stage. *Seed & Plant* 36: 383–401 (In Persian with English abstract).

Schumann GL, Leonard KJ, 2000. Stem rust of wheat (black rust). *The Plant Health Instructor* DOI: 10.1094/PHI–I–2000–0721–01.

Sharif Gh, Bamdadian A, Daneshpajoh B, 1970. Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965–1970). *Journal of Applied Entomology & Phytopathology* 6: 73–100 (In Persian with English abstract).

Singh RP, Hodson DP, Huerta-Espino J, Jin Y, Bhavani S, *et al*., 2011. The emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production. *Annual Review of Phytopathology* 49: 465–481.

Singh RP, Hodson DP, Huerta-Espino J, Jin Y, Njau P, *et al*., 2008. Will stem rust destroy the world's wheat crop? *Advances in Agronomy* 98: 272–309.

Singh RP, Hodson DP, Jin Y, Lagudah ES, Ayliffe MA, *et al*., 2015. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology* 105: 872–884.

Stakman EC, Stewart DM, Loegering WQ, 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. Agricultural Research Service E617. United States Department of Agriculture, Washington DC., USA.

Wanyera R, Kinyua MG, Jin Y, Singh RP, 2006. The spread of stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, with virulence on *Sr31* in wheat in Eastern Africa. *Plant Disease* 90: 113.

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