بیماری‌های گیاهی / جلد ۵۶ / شماره ۳ / سال ۱۳۹۹: ۲۳۷-۲۵۲ DOI: 10.22034/ijpp.2020.241962

مقاله پژوهشی

شناسایی منابع مقاومت نسبت به نژادهای TTKSK و TTKTK (متعلق به گروه نژادی Ug99) بیمارگر زنگ ساقه در برخی از ژنوتیپ‌های سینتتیک هگزاپلویید گندم

علی عمرانی[1*] و رامین روح‌پرور[2,3]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۵)

چکیده

زنگ ساقه گندم با عامل قارچی *Puccinia graminis f. sp. tritici (Pgt)* یکی از خسارت‌زاترین بیماری‌های گندم در سراسر جهان می‌باشد. نژاد *TTKSK (Ug99)* و واریانت‌های آن از نژادهای بسیار پرآزار قارچ *Pgt* می‌باشند که تولید جهانی گندم را با خطر بسیار جدی مواجه ساخته‌اند. تاکنون نژادهای *TTKSK* و *TTKTK* (از گروه نژادی *Ug99*) از مناطق مختلف کشور گزارش شده‌اند. از آنجا که تولید ارقام مقاوم مطمئن‌ترین، مقرون به صرفه‌ترین و به لحاظ زیست محیطی ایمن‌ترین روش کنترل بیماری زنگ ساقه به‌شمار می‌رود، شناسایی منابع مقاومت جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی گندم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به استفاده از اجداد وحشی در روند تولید گندم‌های سینتتیک هگزاپلویید و وجود تنوع ژنتیکی بالا در ژنوتیپ‌های حاصله، در پژوهش حاضر به‌منظور یافتن منابع مقاومت موثر جدید نسبت به نژادهای گروه *Ug99*، مقاومت ۳٤٦ ژنوتیپ سینتتیک گندم به‌همراه شاهدهای حساس (موروکو و مک‌نیر۷۰۱) نسبت به دو نژاد *TTKSK* و *TTKTK* در شرایط گلخانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. گیاهچه‌های هشت روزه با استفاده از مخلوط یوریدینیوسپور و روغن سالترول ۱۷۰ در مرحله ۱۲ از مقیاس زادوکس مایه‌زنی شده و ١٤ روز پس‌از مایه‌زنی تیپ آلودگی بر روی گیاهچه‌ها براساس روش تغیر یافته مک‌اینتاش و همکاران تعیین شد. بررسی پرآزاری (*virulence*) نژادهای بیمارگر نشان داد که *Sr24* و *Sr36* از ژن‌های مقاومت موثر نسبت به هر دو نژاد عامل بیماری بودند. با توجه به تجزیه واریانس بین ژنوتیپ‌های گندم نسبت به هر دو نژاد تنوع ژنتیکی و اختلاف بسیار معنی‌داری وجود داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که ۲۱/۳ درصد ژنوتیپ‌های سینتتیک هگزاپلویید گندم مورد مطالعه نسبت به نژادهای مورد استفاده دارای درجات مختلفی از مقاومت بودند. این ژنوتیپ‌ها دارای ژن-های مقاومت گیاهچه‌ای بوده و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی کشور برای تولید ارقام مقاوم به‌عنوان منابع مقاومت موثر نسبت به گروه نژادی *Ug99* در کنار ژنوتیپ‌های حامل ژن‌های مقاومت گیاه بالغ استفاده کرد.

کلیدواژه: پرآزاری، تیپ آلودگی، جدایه، ژن‌های مقاومت، یوریدینیوسپور

---

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ali_omrani90@yahoo.com

۱. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران.

۲. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

Identification of Resistance Sources to TTKSK and TTKTK (Ug99 race group) of Stem Rust Pathogen in some Synthetic Hexaploid Wheat Genotypes

A. Omrani[1*] and R. Roohparvar[2,3]

(Received: 10.2.2020; Accepted: 25.11.2020)

Abstract

Wheat stem rust caused by the fungal pathogen *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (*Pgt*) is one of the most devastating wheat diseases, worldwide. The race TTKSK (Ug99) and its derived variants are amongst highly virulent *Pgt* races imposing a serious threat to the global wheat production. So far, TTKSK and TTKTK (belonging to Ug99 race group) have been reported from different locations of Iran. Since utilization of resistant cultivars is the most effective, efficient and environmentally safe control method of stem rust, therefore identification of resistance sources includes a high importance in wheat breeding programs. Due to wild ancestors used in production of wheat synthetic hexaploid (SH) genotypes and also to high genetic diversity in the resulted SHs, new effective sources of resistance is assumed to be found in these genotypes against Ug99 race group of *Pgt*. For this purpose, resistance of 346 wheat SH genotypes as well as two susceptible controls (Morocco and McNair 701) was evaluated against *Pgt* races TTKSK and TTKTK in a completely randomized block design with three replications under greenhouse conditions. Eight-day old seedlings were inoculated with a mixture of urediniospores in salterol 170 at the step 12 of Zadoks et al. scale, followed by scoring of infection type (IT) of the genotypes at 14 dpi based on the modified method by McIntosh et al. Virulence assays showed that *Sr24* and *Sr36* are effective resistance genes against both *Pgt* races. Based on the results of analysis of variance, there was a significant difference and genetic diversity among the wheat genotypes to both *Pgt* races tested. This study demonstarated that 21.3% of SH wheat genotypes tested include different levels of resistance to the races. These genotypes carrying seedling resistance genes could be used in wheat breeding programs as effective sources of resistance to Ug99 race group along with the genotypes carrying adult plant resistance genes.

Keywords: Virulence, infection type, isolate, resistance genes, urediniospore.

* Corresponding author's E-mail: ali_omrani90@yahoo.com

1. Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Moghan, IRAN.
2. Assist. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, IRAN.
3. Assist. Prof., Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, IRAN.

مقدمه

گندم مهم‌ترین محصول زراعی راهبردی کشور می‌باشد. خود اتکایی و تداوم خودکفایی در تولید گندم به‌عنوان یک آرمان ملی تلقی شده و از مهم‌ترین اهداف طرح‌های پژوهشی کشاورزی در سطح کلان کشور است. با این وجود در راستای تحقق این امر مهم مشکلاتی نیز وجود دارد.

عدم وجود تنوع ژنتیکی کافی در خزانه ژنی گندم کشور از مشکلات اساسی به‌نژادی و ژنتیکی افزایش محصول در برابر تنش‌های مختلف زنده و غیرزنده می‌باشد. بنابراین بایستی به ناچار به حفظ ذخایر ژنتیکی موجود و شناسایی و ایجاد تنوع ژنتیکی در خزانه ژنی فعلی اقدام نمود. منابع ژنتیکی در سطوح مختلف خزانه ژنی گندم برای اصلاح، بهبود و پیشبرد صفات متعدد زراعی مورد توجه قرار گرفته‌اند. از جمله این منابع می‌توان به ارقام موجود در بانک‌های ژن و کلکسیون‌ها اشاره نمود که به‌عنوان سطح اول خزانه ژنی مطرح می‌باشند. از سطوح دیگر می‌توان به گونه‌های وحشی گندم اشاره نمود که برای بهره‌برداری از آن‌ها از گونه‌های حد واسط و با تولید ارقام مصنوعی از آن‌ها استفاده می‌شود. پژوهشگران درصدد دستیابی به ساختارهای ژنتیکی جدید می‌باشند، بنابراین گندم‌های مصنوعی که آمفی‌پلویید بین گندم دوروم (AABB) با گونه وحشی *Aegilops squarosa* یا به‌عبارت دیگر *Aegilops tauschii* (DD) می‌باشند، منابع ارزشمندی هستند که علاوه‌بر داشتن صفات جدید، تنوع سرشاری را برای اصلاح و تولید ارقام مقاوم به بیماری‌ها فراهم می‌آورند. تنوع مشاهده شده در ژنوم D گندم نان در مقایسه با تنوع موجود در ژنوم D گونه‌های وحشی بسیار محدود است (Ma *et al.*, 1995). اما قبل از بکارگیری این منابع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی بایستی وضعیت مقاومت آن‌ها نسبت به بیماری‌های مهم گندم مخصوصا زنگ‌ها ارزیابی گردند. به‌طور کلی به‌منظور استفاده مستقیم از ژن‌های مقاومت موثر به زنگ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی، بایستی ابتدا ژن‌های مقاومت موجود در منابع مختلف شناسایی شود. برای اطلاع از موثر بودن ژن‌ها باید از ساختار ژنتیکی بیمارگر شناخت کافی وجود داشته باشد و سپس نسبت به انتخاب و انتقال ژن به ارقام برای مناطق اقدام شود.

گندم در طول چرخه زندگی در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی فراوانی قرار می‌گیرد. اهمیت بیماری‌های گیاهی و نقش انکارناپذیر آن‌ها در کاهش عملکرد محصولات کشاورزی بر کسی پوشیده نیست. مهم‌ترین تنش زنده برای تولید گندم در سرتاسر جهان زنگ‌ها (زنگ ساقه، زنگ برگی و زنگ نواری) هستند. زنگ سیاه یا زنگ ساقه گندم با عامل قارچی *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (*Pgt*) از بیماری‌های مهم و خسارت‌زای گندم در انتهای فصل رشد می‌باشد (Singh *et al.*, 2015). به‌دلیل ظهور تلیوسپورهای سیاه رنگی که در آخر فصل رشد روی میزبان حساس به‌وجود می‌آیند، به این بیماری زنگ سیاه هم گفته می‌شود. همچنین به‌خاطر اینکه این بیماری در اواخر دوره رشد گندم در مزرعه ظاهر می‌شود، زنگ تابستانه نیز نامیده می‌شود (McIntosh *et al.*, 1995). زنگ ساقه توانایی آلوده کردن تمام اندام‌های هوایی گیاه گندم مانند برگ‌ها، غلاف برگ‌ها، ساقه‌ها، سنبله‌ها و حتی ریشک‌ها را دارد (Leonard and Szabo, 2005). وجود تعداد زیاد جوش‌های یوردیا روی گیاه گندم باعث تعرق زیاد، پاره شدن اپیدرم و در نتیجه باعث از دست رفتن شدید آب از گیاه می‌شود. انتقال مواد غذایی یا اسیمیلات‌ها به اندام‌های در حال رشد و یا دانه‌های در حال تشکیل

به‌سبب ایجاد ترکیدگی در اندام‌های گیاهی و مسدود شدن مسیر انتقال اسیمیلات‌ها، محدود و کاهش رشد در گیاهان آلوده مشاهده می‌شود. به‌علت از بین رفتن قسمت عمده سطح فتوسنتزی گیاه توسط قارچ بیمارگر، پرشدن دانه‌ها و رشد ریشه، میزان محصول و مرغوبیت دانه‌ها کاهش می یابد. حدود سه تا چهار هفته قبل از برداشت به‌واسطه بیماری زنگ ساقه، ساقه‌ها می‌توانند دچار شکستگی و ورس شوند و درنتیجه دانه‌ها چروک شوند (Singh *et al.*, 2006).

میزان خسارت وارده در اثر زنگ ساقه گندم بسته به رقم، زمان شروع آلودگی و عوامل مختلف دیگر متغیر می‌باشد. در زمان وقوع همه‌گیری (تشکیل هرم بیماری) بیمارگر پتانسیل از بین بردن کل محصول را دارد (Singh *et al.*, 2011). یکی از نژادهای بسیار مهاجم و با قدرت بیماری‌زایی بالا (پرآزاری) زنگ ساقه، نژاد TTKSK (Ug99) می‌باشد که بر روی ژن مقاومت *Sr31* گندم بیماری‌زایی داشته و اولین بار در سال ۱۹۹۸ در اوگاندا مشاهده و گزارش شد. ژن *Sr31* به‌مدت بیش از ۴۰ سال سبب مقاومت گندم نسبت به بیماری زنگ ساقه در جهان شده بود (Pretorius *et al.*, 2000). این ژن با انتقال قطعه ای از کروموزوم چاودار رقم امپریال به گندم (1B/1R) به‌همراه ژن مقاومت به بیماری زنگ زرد، *Yr9* و ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای، *Lr26* به گندم منتقل شده است (Kolmer *et al.*, 2007). نژاد Ug99 پس از اوگاندا در سال ۲۰۰۲ از کنیا و در سال ۲۰۰۳ از اتیوپی و سودان گزارش شده و در سال ۲۰۰۶ به یمن منتقل گردید (Singh *et al.*, 2015). در ایران نژاد TTKSK (Ug99) در سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷ میلادی) از مناطق بروجرد و همدان (Nazari *et al.*, 2009) و در سال ۱۳۸۸ از مناطق اهواز و دشت آزادگان استان خوزستان، در سال ۱۳۹۰ از بروجرد استان لرستان و در سال ۱۳۹۲ از کلاردشت استان مازندران و در سال ۱۳۹۵ از منطقه هشترود استان آذربایجان شرقی گزارش گردید (Patpour, 2013; Afshari *et al.*, 2015; Roohparvar *et al.*, 2019). نژاد TTKTK اولین بار در سال ۱۳۹۵ در استان خوزستان گزارش شد (Roohparvar and Omrani, 2019).

نژاد Ug99 در حال تکامل بوده و تاکنون ۱۲ واریانت مختلف از نژاد اولیه TTKSK (Ug99) شناسایی شده است که عبارتند از: TTKSF، TTKSF+، TTKST، TTTSK، TTKSP، PTKST، PTKSK، TTHSK، PTKTK، TTHST، TTKTT و TTKTK (Singh *et al.*, 2015; Patpour *et al.*, 2016; Fetch *et al.*, 2016; Newcomb *et al.*, 2016; Bhavani *et al.*, 2019). واریانت‌های نژاد Ug99 از نظر پرآزاری در مقابل ژن‌های *Sr21*، *Sr24*، *Sr31*، *Sr36* و *SrTmp* تفاوت دارند. نژاد Ug99 و واریانت‌های مشتق از آن در کل بیش از ۴۰ ژن مقاومت را بی‌اثر ساخته است (Singh *et al.*, 2015).

براساس تحقیقات صورت گرفته در صورت عدم کنترل نژاد Ug99 و واریانت‌های احتمالی و گسترش آن به مناطق عمده کاشت گندم، تولید جهانی این محصول به‌طور مستقیم تا ۳۷ درصد کاهش می‌یابد. بنابر گزارشات پژوهشگران، بیش از ۸۰ درصد از گونه‌های گندم در آفریقا و آسیا حساس به نژادهای متعلق به گروه Ug99 هستند. این وضعیت فوریت به‌کار بردن موثر ژن‌های مقاومت در ارقام گندم زراعی را چه در کشورهایی که در حال حاضر Ug99در آنجا وجود دارد و یا کشورهایی که در معرض خطر گسترش آن قرار دارند، می‌طلبد (Anonymous, 2005).

ایران نه تنها یکی از خاستگاه‌های مهم گندم می‌باشد بلکه یکی از مراکز مهم تنوع برای بیماری زنگ‌ها نیز به-

شمار می‌آید چراکه علاوه بر وجود شرایط محیطی مناسب برای گسترش زنگ‌ها، میزبان‌های حدواسط برای ترکیبات ژنی جدید و تولید مثل جنسی زنگ‌ها در مناطق مختلف کشور وجود دارند. در سال‌های اخیر گزارشاتی مبنی‌بر وجود نژادهای متعلق به گروه Ug99 در مناطق مختلف کشور ثبت شده است. بیم آن وجود دارد که در صورت عدم تدبیر لازم در این راستا علاوه‌بر خسارت‌های شدید به تولید مهم‌ترین محصول زراعی راهبردی کشور، امنیت غذایی کشور نیز به‌خطر بیفتد. با توجه به اطلاعات کم و ناچیز در رابطه با مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک هگزاپلویید گندم تولید شده در مرکز بین‌المللی تحقیقاتی ذرت و گندم سیمیت (CIMMYT) نسبت به نژادهای متعلق به گروه Ug99 موجود در ایران و با توجه به وجود تنوع ژنتیکی بالا در این ژنوتیپ‌ها به‌دلیل وجود اجاد وحشی در تلاقی‌های ایجاد ژنوتیپ‌های سینتتیک هگزاپلویید گندم، پیدا نمودن منابع مقاومت جدید نسبت به این بیماری در این ژنوتیپ‌ها دور از انتظار نیست. بنابراین تحقیق حاضر پایه‌ریزی و دو جدایه از نژادهای متعلق به گروه Ug99 برای ارزیابی برخی از ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم به‌همراه شاهد حساس در مرحله گیاهچه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

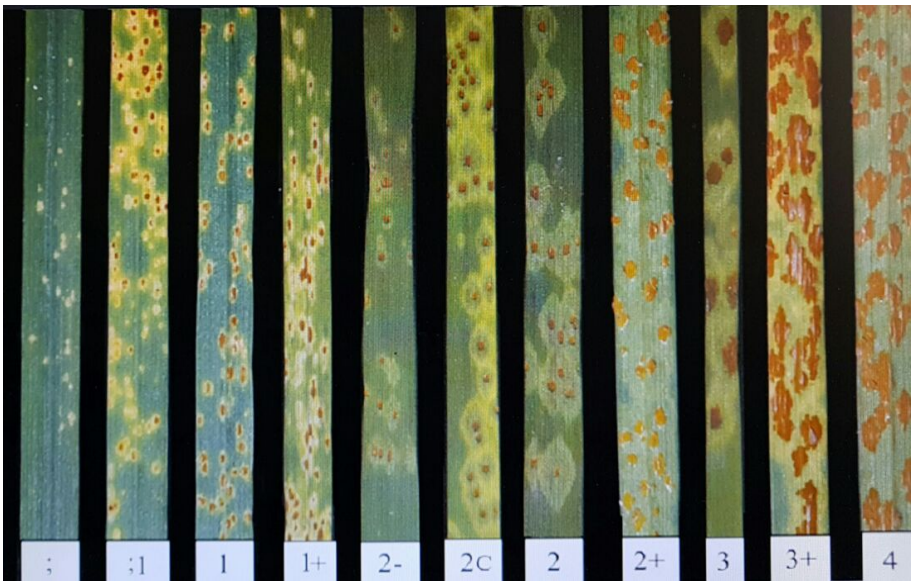
در سال ۱۳۹۵ از برگ‌ها و ساقه‌های گندم آلوده به زنگ ساقه از مناطق مختلف کشور نمونه جمع‌آوری شده و به گلخانه زنگ ساقه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج انتقال داده شد. آلودگی‌های شدید بیماری زنگ ساقه در مناطق هشترود و اهواز در این سال کاملا مشهود بود. نمونه‌های جمع‌آوری شده ابتدا با آب مقطر شستشو شده و بعد از ۲۴ ساعت قرار دادن در پتری‌دیش روی کاغذ صافی یوریدینیوسپورهای زنگ ساقه موجود در نمونه‌های آلوده رطوبت جذب کرده و فعال شده، روی رقم حساس مک‌نیر ۷۰۱ (McNair 701) در گلخانه مایه‌زنی و تکثیر شدند. رقم مناسب برای تکثیر اسپورهای زنگ بایستی به تمامی نژادهای عامل بیماری حساسیت نشان دهد و هیچ ژن اختصاصی برای مقاومت نداشته باشد. چند دوره تکثیر و خالص‌سازی (از طریق تک جوش نمودن) به‌منظور حذف یوردینیسپورهای زنگ قهوه‌ای و اطمینان از خالص بودن نژاد مورد استفاده در آزمایش‌های ارزیابی گیاهچه‌ای، انجام شد (وجود زنگ قهوه‌ای احتمالا تاثیر منفی روی نتایج آزمایشات مربوط به زنگ ساقه خواهند داشت). اسپورهای زنگ ساقه خالص و تکثیر شده به‌کمک دستگاه مکنده از روی رقم حساس جمع‌آوری شده و بلافاصله مورد استفاده قرار گرفتند. بدین صورت که یک هفته قبل از جمع‌آوری اسپورهای زنگ ساقه از روی میزبان حساس مذکور بذور ارقام استاندارد و افتراقی (ژنوتیپ‌هایی هستند که هر کدام از آن‌ها دارای ژن مقاومت منحصر به فرد هستند و باعث تفکیک نژادها از یکدیگر می‌شوند. تفکیک نژادها براساس واکنش پرآزاری و ناپرآزاری آن‌ها روی ژن‌های مقاومت موجود در ژنوتیپ‌های افتراقی می‌باشد) در داخل گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۵ سانتی‌متر با خاک تهیه شده از مخلوط خاک مزرعه و پیت ماس به نسبت ۱:۲ در گلخانه با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و شرایط رطوبتی ۶۵ درصد در سه تکرار کشت گردیدند. پس‌از جوانه‌زنی بذرهای ارقام استاندارد و افتراقی (شامل مجموعه ۲۰ تایی امریکای شمالی ارایه شده در جدول ۱) هنگامی که برگ اول گیاهچه‌ها به رشد کامل رسیدند و برگ دوم در حال ظاهر شدن بود به‌عبارت دیگر، مرحله ۱۲ در مقیاس زادوکس (Zadoks *et al.*, 1974)، با مخلوطی از یوردینیوسپور

جدول ۱. ژنوتیپ‌های افتراقی گندم در مجموعه آمریکای شمالی مورد استفاده در شناسایی نژادهای *Pgt*

Table1.North American differential wheat genotypes used for race analysis of *Pgt*

No.	Line	Gene	No.	Line	Gene
1	ISr5-Ra	*Sr5*	11	BtSr30Wst	*Sr30*
2	CnS-T-mono-deriv	*Sr21*	12	Combination VII	*Sr17+13*
3	Vernstein	*Sr9e*	13	ISr9a-Ra	*Sr9a*
4	ISr7b-Ra	*Sr7b*	14	ISr9d-Ra	*Sr9d*
5	ISr11-Ra	*Sr11*	15	W2691Sr10	Sr10
6	ISr6-Ra	*Sr6*	16	CnsSrTmp	*SrTmp*
7	ISr8a-Ra	*Sr8a*	17	LcSr24Ag	*Sr24*
8	CnSr9g	*Sr9g*	18	Sr31/6*LMPG	*Sr31*
9	W2691SrTt-1	*Sr36*	19	VPM-1	*Sr38*
10	W2691Sr9b	*Sr9b*	20	McNair 701	*SrMcN*

تکثیر شده جدایه‌های مورد مطالعه و روغن صنعتی سالترول ۱۷۰ (هر دو جدایه به‌طور جداگانه و در شرایط کاملاً یکسان روی مجموعه گیاهچه‌های ارقام استاندارد و افتراقی) مایه‌زنی شدند. سپس با آب مقطر گیاهچه‌های مایه‌زنی شده به‌منظور تامین رطوبت برای جوانه‌زنی و نفوذ قارچ عامل بیماری زنگ ساقه از طریق شکاف‌های روزنه برگ‌های گیاهچه‌ها مه‌پاشی گردید. گیاهچه‌های مایه‌زنی شده هر مجموعه با درپوش پلاستیکی پوشانده شدند تا از نشستن اسپور سایر نژادها در گلخانه و همچنین از تبخیر بیش از حد رطوبت جلوگیری شود. گیاهچه‌ها پس‌از مایه-زنی به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی با دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت اشباع قرار گرفتند تا شرایط برای مراحل جوانه‌زنی، تولید لوله تندش، آپرسوریوم و نفوذ هیف‌ها به بافت گیاه مهیا گردد و سپس به‌مدت ۱۴ روز به گلخانه با دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند تا مراحل بعد نفوذ که شامل مراحل رشد و اسپورزایی هستند، تکمیل گردد. پس‌از گذشت ۱۴ روز از مایه‌زنی علایم بیماری حاصل (تیپ آلودگی) روی گیاهچه‌ها ثبت گردید. برای تعیین تیپ آلودگی گیاهچه‌های مایه‌زنی شده به سه ویژگی اندازه جوش‌ها، شرایط کلروز و نکروز و شرایط پراکندگی جوش‌ها در بخش‌های مختلف سطح برگ‌ها توجه گردید. تیپ آلودگی گیاهچه‌ها با مقیاس تغییر یافته صفر تا چهار مک‌اینتاش و همکاران (McIntosh *et al.*, 1995) تعیین گردید. تعیین نژاد جدایه‌های زنگ ساقه جمع‌آوری شده با روش جین و همکاران (Jin *et al.*, 2008) انجام یافت. برای ارزیابی گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم مورد مطالعه (۳۴۶ ژنوتیپ) نسبت به دو نژاد قارچ *Pgt* عامل زنگ ساقه، این ژنوتیپ‌ها به‌همراه شاهدهای حساس (موروکو و مک‌نیر ۷۰۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی کشت شدند. تمامی مراحل کاشت، مایه‌زنی و یادداشت برداری از تیپ آلودگی ژنوتیپ‌ها به همان روشی که در قسمت تعیین نژاد جدایه-ها ذکر شد، انجام یافت. برای اطمینان از نرمال بودن داده-های تیپ آلودگی در شرایط گلخانه، آزمون نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله نرم افزار Minitab انجام گرفت که برای تیپ آلودگی داده‌های مربوطه نرمال نبود و تبدیل جذری بر روی آنها اعمال شد. سپس با استفاده از نرم افزار SASدر قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های حساس که مقادیر ۳، ۳+ و ۴ از مقیاس مک‌اینتاش و همکاران را داشتند به‌صورت آلودگی بالا (High infection) و ژنوتیپ‌های مقاوم که مقادیر صفر تا ۲+



شکل ۱. مقیاس تغییر یافته صفر تا چهار مک‌اینتاش و همکاران (McIntosh *et al.*, 1995) جهت تعیین تیپ آلودگی نسبت به زنگ ساقه گندم

Figure 1. Modified scale of 0-4 McIntosh et al. (McIntosh et al., 1995) to determine the infection type for wheat stem rust

داشتند به‌صورت (Low infection) در نظر گرفته شد (شکل ۱).

نتایج و بحث

با توجه به ارزش‌های تعیین شده برای هر یک از ارقام استاندارد و افتراقی در مجموعه امریکای شمالی، مشخص شد که جدایه تکثیر شده از منطقه هشترود استان آذربایجان شرقی (متعلق به اقلیم سرد) در سال ۱۳۹۵، نژاد TTKSK و جدایه جمع‌آوری شده از منطقه اهواز در همان سال نژاد TTKTK شناسایی گردید. هر دو نژاد مورد مطالعه از نژادهای متعلق به گروه Ug99 می‌باشند که از نژادهای بسیار پرآزاد قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* به‌شمار می‌آیند. شباهت نشانگرهای توالی ساده تکراری بین واریانت‌های نژاد Ug99 تکامل این نژادها (واریانت‌ها) را از یک جد مشترک نشان می‌دهد (Singh *et al.*, 2011). با توجه به اهمیت نژادهای Ug99، برای تایید نتایج تعیین نژاد جدایه‌ها چندین نوبت تکرار شد و در هر بار نتایج حاکی از آن بود که نژادهای مورد مطالعه متعلق به گروه نژادی Ug99 بودند. براساس نتایج حاصل از واکنش ارقام استاندارد و افتراقی برای گیاهان حامل ژن‌های *Sr5*، *Sr6*، *Sr7b*، *Sr8a*، *Sr9a*، *Sr9b*، *Sr9d*، *Sr9e*، *Sr9g*، *Sr10*، *Sr11*، *Sr17*، *Sr21*، *Sr30*، *Sr31*، *Sr38* و *SrMcN* نسبت به هر دو نژاد مورد مطالعه بیماریزایی مشاهده گردید (جدول ۲). ژنوتیپ‌های افتراقی حامل ژن‌های *Sr24* و *Sr36* نسبت به هر دو نژاد مورد مطالعه واکنش مقاومت نشان دادند. این دو ژن در مقابل برخی از نژادهای متعلق به گروه Ug99 (TTKSF، PTKSK، TTKSF+، TTKTK، TTHSK و PTKTK) از ژن‌های مقاومت موثر می‌باشند (Bhavani *et al.*, 2019). ژنوتیپ افتراقی حامل ژن *SrTmp* نسبت به نژاد TTKTK واکنش حساسیت و نسبت به نژاد TTKSK واکنش مقاومت نشان داد. علاوه‌بر ژن‌های مقاومت معرفی شده فوق (*Sr24*، *Sr36* و *SrTmp*)

جدول ۲. مشخصات جدایه (نژاد) های *Pgt* بکار رفته برای ارزیابی مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم

Table 2. Characteristics of isolates (races) of *Pgt* used to evaluate resistance of wheat synthetic genotypes

ردیف No.	نژاد Race	کد ایزوله Code	محل جمع‌اوری Location	ژن‌های موثر / ژن‌های بی اثر Ineffective genes / Effective genes
1	TTKTK	95-2	Ahvaz Shavoor	*Sr5, 6, 7b, 8a, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 11, 17, 21, 30, 31, 38, Tmp, McN / 24, 36*
2	TTKSK	95-68	East Azarbaijan Hashtrood	*Sr5, 6, 7b, 8a, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 11, 17, 21, 30, 31, 38, McN / 24, 36, Tmp*

جدول ۳. تجزیه واریانس صفت تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به نژادهای *Pgt*

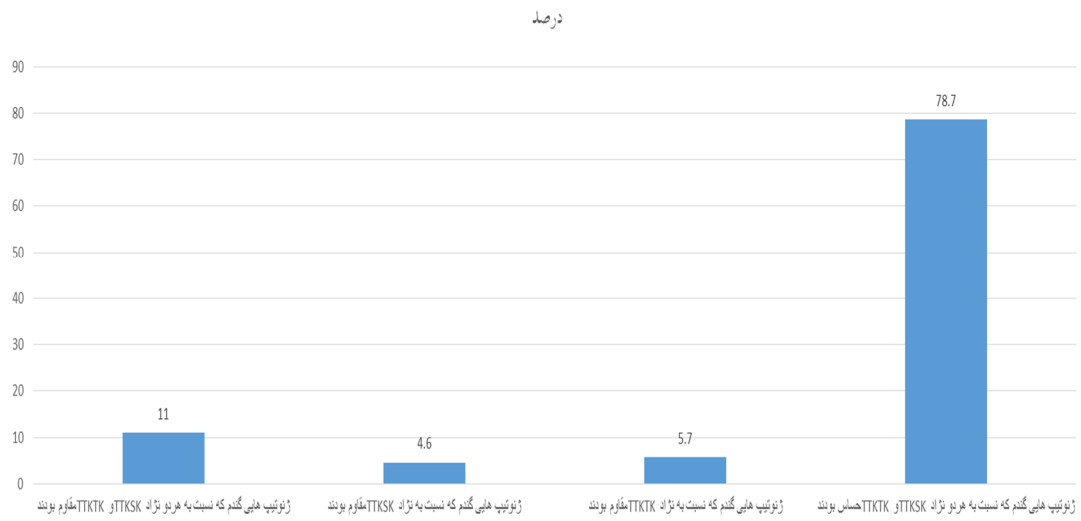
Table 3. Analysis of variance of infection type of wheat synthetic genotypes to *Pgt* races

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات Ms	
		TTKSK	TTKTK
S.o.v	df	IT	IT
Rep	2	0.98ns	3.11ns
Genotype	347	45.42**	39.99**
Error	694	1.06	1.27
%CV		8.23	9.88

ns، * و :** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار، معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد

ژن‌های *Sr2*، *Sr13*، *Sr21*، *Sr22*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr28*، *Sr31*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr35*، *Sr39*، *Sr43*، *Sr44*، *Sr45*، *Sr47*، *Sr49*، *Sr50*، *Sr52*، *Sr55*، *Sr56*، *Sr57*، *SrCad*، *SrND643*، *SrTA10171*، *SrTA10187* و ژن *QSr.abr-7AL* نیز مقاومت مناسبی در برابر نژاد Ug99 یا واریانت‌های آن ایجاد می‌نمایند (Anonymous, 2020). بیشتر ژن‌های مقاومت مذکور ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای بوده و تعداد محدودی از آن‌ها باعث مقاومت در مرحله گیاه بالغ می‌شوند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بسیار معنی‌داری بین واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به نژادهای مورد مطالعه برای تیپ آلودگی وجود دارد (جدول ۳). این امر نشان دهنده تفاوت‌های ژنتیکی در میان ژنوتیپ‌های گندم می‌باشد. تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به جدایه‌های زنگ ساقه توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Omrani *et al.*, 2018). با توجه به مندرجات جداول ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ در بررسی مقاومت ژنوتیپ‌های گندم نسبت به نژادهای گروه Ug99 در مرحله گیاهچه‌ای ۷۸/۷ درصد ژنوتیپ‌ها دارای تیپ آلودگی حساس، ۱۱ درصد دارای تیپ آلودگی مقاوم و ۱۰/۳ درصد ژنوتیپ‌ها دارای مقاومت اختصاص به نژاد بودند که نسبت به یکی از نژادها مقاوم و در برابر نژاد دیگر حساس بودند. ۴/۶ درصد ژنوتیپ‌ها نسبت به نژاد TTKSK و ۵/۷ درصد ژنوتیپ‌ها نسبت به نژاد TTKTK واکنش مقاومت نشان دادند. به‌عبارت دیگر ۲۱/۳ درصد ژنوتیپ‌های سینتتیک هگزاپلویید گندم مورد مطالعه نسبت به نژادهای مورد استفاده در این پژوهش دارای درجات مختلفی از مقاومت بودند. درصد فراوانی ژنوتیپ‌های متعلق به هر گروه (مقاومت، حساسیت و مقاومت اختصاصی) به تفکیک در شکل ۲ ارایه شده است. براساس واکنش‌های مقاومت، حساسیت و مقاومت نسبی (مقاومت اختصاصی) نمونه‌های مورد بررسی در گروه‌های اصلی تقسیم شدند که روش مشابه با ژو و همکاران (Xu *et al.*, 2009) می‌باشد. با توجه به تعداد ژن‌های مقاومت موثر نسبت به نژادهای مورد مطالعه و ماهیت تولید ژنوتیپ‌های سینتتیک هگزاپلویید گندم که اجداد وحشی گندم نیز در تولید آنها



شکل ۲. درصد فراوانی واکنش‌های مختلف ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به هر دو نژاد *Pgt*

Figure 2. Frequency of different reactions of synthetic wheat genotypes to both *Pgt* races

جدول ٤. سیستم کددهی براساس واکنش ژن‌های مقاومت موجود در ژنوتیپ‌های افتراقی مجموعه آمریکای شمالی جهت تعیین نژادهای *Pgt*

Table 4. Coding system based on the response of resistance genes in the set of North American differential genotypes to determine the races of *Pgt* (Jin *et al.*, 2008)

Set 1	*Sr5*	*Sr21*	*Sr9e*	*Sr7b*
Set 2	*Sr11*	*Sr6*	*Sr8a*	*Sr9g*
Set 3	*Sr36*	*9b*	*Sr30*	*Sr17*
Set 4	*Sr9a*	*9d*	*Sr10*	*SrTmp*
Set 5	*Sr24*	*31*	*Sr38*	*SrMcN*
B	Low	Low	Low	Low
C	Low	Low	Low	High
D	Low	Low	High	Low
F	Low	Low	High	High
G	Low	High	Low	Low
H	Low	High	Low	High
J	Low	High	High	Low
K	Low	High	High	High
L	High	Low	Low	Low
M	High	Low	Low	High
N	High	Low	High	Low
P	High	Low	High	High
Q	High	High	Low	Low
R	High	High	Low	High
S	High	High	High	Low
T	High	High	High	High

دخیل هستند و همچنین تعداد پایین نژادهای مورد مطالعه شرایط شناسایی ژن‌های مقاومت موجود در ژنوتیپ‌های مقاوم معرفی شده بسیار مشکل می‌باشد. استفاده از مارکرهای اختصاصی مرتبط با ژن‌های مقاومت معرفی شده می‌تواند شناسایی ژن‌های مقاومت موجود در ژنوتیپ‌های مقاوم را تسهیل دهد.

نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به آزمایش‌های مکرر و مستمر تعیین نژاد جدایه‌های بیماری زنگ ساقه گندم جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور توسط نگارندگان در سال‌های اخیر، شیوع زنگ ساقه می‌تواند یکی از خطرات احتمالی برای تولید گندم و امنیت غذایی در کشور باشد. دلیل برای این امر را می‌توان اینگونه بیان نمود، در مناطقی که قبلا بیماری زنگ ساقه اهمیت چندانی نداشت (اقلیم سرد عمدتا نواحی غرب و شمال‌غرب کشور) در سال‌های اخیر شیوع چشم‌گیر بیماری زنگ ساقه در این مناطق مشاهده می‌شود. حتی نتایج تعیین نژاد چندین ساله نشان می‌دهد الگوی

جدول ۵. واکنش (تیپ آلودگی) ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به نژادهای *Pgt*

Table 5. Reaction (infection type) of wheat synthetic genotypes to *Pgt* races

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK
1	22797	H	H	51	22855	H	H
2	22798	H	H	52	22856	H	H
3	22799	H	H	53	22857	H	L
4	22800	H	H	54	22858	H	H
5	22801	H	H	55	22860B	H	H
6	22802	H	H	56	22861A	L	L
7	22803	H	H	57	22861B	H	L
8	22805	H	H	58	22862	L	H
9	22808	H	H	59	22863	L	H
10	22809	L	H	60	22864	L	H
11	22811	H	H	61	22865	H	L
12	22812	H	H	62	22866	L	L
13	22813	H	H	63	22869	L	H
14	22815	H	H	64	22870	H	L
15	22816	H	H	65	22871	H	H
16	22817	H	H	66	22873	H	H
17	22818	L	L	67	22874	L	L
18	22819	H	H	68	22875	H	H
19	22820	H	H	69	22876	L	L
20	22821	H	H	70	22877	H	H
21	22822	H	H	71	22878	H	L
22	22823	H	H	72	22879	H	H
23	22824	H	H	73	22881	H	H
24	22825	H	H	74	22882	L	H
25	22826	H	H	75	22884	H	H
26	22827	H	H	76	22885	H	H
27	22828	H	H	77	22886	H	H
28	22829	L	H	78	22887	H	H
29	22830	H	H	79	22888	H	H
30	22831	H	H	80	22889	H	H
31	22832	H	H	81	22891	L	L
32	22833	L	L	82	22893	H	H
33	22834	H	H	83	22894	H	H
34	22835	H	L	84	22895	H	H
35	22836	H	H	85	22896	H	H
36	22837	H	H	86	22899	H	H
37	22838	H	H	87	22900	H	L
38	22839	H	H	88	22901	L	H
39	22840	H	H	89	22902	L	H
40	22842	H	H	90	22903	H	L
41	22843	H	H	91	22904	H	H
42	22844	H	H	92	22905	H	H
43	22845	H	H	93	22906	H	H
44	22846	H	H	94	22907	H	H
45	22847	H	H	95	22908	H	H
46	22849	H	H	96	22909	H	H
47	22850	H	H	97	22910	H	H
48	22851	H	H	98	22911	L	L
49	22852	H	H	99	22912	H	H
50	22853	H	H	100	22913	H	H

جدول ۵. ادامه

Table 5. Continued.

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK
101	22914	L	L	151	22967	L	L
102	22915	H	H	152	22968	H	H
103	22916	H	H	153	22969	H	H
104	22917	L	L	154	22970	H	H
105	22918	L	L	155	22971	H	H
106	22919	H	H	156	22972	H	H
107	22920	H	H	157	22973	H	H
108	22921	H	L	158	22974	H	H
109	22922	H	H	159	22975	H	H
110	22923	H	H	160	22976	L	L
111	22924	L	L	161	22977	L	L
112	22925	H	H	162	22978	H	H
113	22926	L	L	163	22979	H	H
114	22927	H	H	164	22980	L	L
115	22928	H	H	165	22981	L	L
116	22929	H	H	166	22982	H	H
117	22930	L	L	167	22983	H	H
118	22931	H	H	168	22984	H	H
119	22932	H	H	169	22985	H	H
120	22933	H	H	170	22986	H	H
121	22934	H	H	171	22987	H	H
122	22935	H	H	172	22988A	H	H
123	22936	H	H	173	22988B	L	H
124	22937	H	H	174	22989	L	L
125	22938	H	H	175	22990	H	H
126	22939	H	H	176	22991	H	H
127	22940	H	H	177	22992	H	H
128	22941	H	H	178	22993	H	H
129	22942	H	H	179	22994	H	H
130	22943	H	H	180	22995	H	H
131	22944	H	H	181	22996	H	H
132	22945	H	H	182	22997	H	H
133	22948	H	H	183	22998	H	H
134	22949	H	H	184	22999	H	H
135	22950	H	H	185	23000	H	L
136	22951	H	H	186	23001	L	L
137	22952	H	H	187	23002	H	H
138	22953	H	H	188	23003	H	H
139	22954	H	H	189	23004	H	H
140	22955	H	H	190	23005	H	H
141	22956	H	H	191	23006	H	H
142	22957	L	H	192	23007	H	H
143	22958	H	H	193	23008	H	H
144	22959	L	L	194	23009	H	L
145	22960	L	L	195	23010	H	H
146	22961	H	H	196	23011	L	L
147	22962	H	H	197	23012	H	H
148	22963	L	L	198	23013	H	H
149	22965	H	L	199	23014	H	L
150	22966	H	H	200	23015	L	L

جدول ۵. ادامه

Table 5. Continued.

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK
201	23016	H	H	251	23066	L	H
202	23017	L	H	252	23068	H	H
203	23018	H	H	253	23069	H	H
204	23019	H	H	254	23070	H	H
205	23020	H	H	255	23071	H	H
206	23021	H	H	256	23072	H	H
207	23022	L	L	257	23073	H	H
208	23023	L	L	258	23074	H	H
209	23024	H	H	259	23075	H	H
210	23025	H	H	260	23076	H	H
211	23026	H	H	261	23077	H	H
212	23027	H	L	262	23078	H	H
213	23028	H	H	263	23079	H	H
214	23029	L	L	264	23080	H	H
215	23030	H	H	265	23081	L	H
216	23031	H	H	266	23082	H	H
217	23032	H	H	267	23083	H	H
218	23033	L	L	268	23084	H	H
219	23034	H	H	269	23085	H	L
220	23035	H	H	270	23086	H	H
221	23036	H	H	271	23087	H	H
222	23037	H	H	272	23088	H	H
223	23038	H	H	273	23089	L	L
224	23039	H	H	274	23090	H	H
225	23040	H	H	275	23091	H	H
226	23041	H	H	276	23093	H	H
227	23042	H	H	277	23094	H	H
228	23043	L	L	278	23095	H	H
229	23044	L	L	279	23096	H	H
230	23045	H	H	280	23097	H	H
231	23046	H	H	281	23099	H	H
232	23047	H	H	282	23100	H	H
233	23048	H	H	283	23101	H	H
234	23049	H	H	284	23102	H	H
235	23050	H	H	285	23103	L	H
236	23051	H	H	286	23104	H	H
237	23052	L	L	287	23105	H	H
238	23053	H	H	288	23107	H	H
239	23054	H	H	289	23108	H	H
240	23055	H	H	290	23109	H	H
241	23056	H	H	291	23111	H	H
242	23057	H	H	292	23112	H	H
243	23058	L	L	293	23115	H	H
244	23059	H	H	294	23116	L	L
245	23060	H	H	295	23117	H	H
246	23061	H	H	296	23118	H	H
247	23062	H	H	297	23119	H	H
248	23063	H	H	298	23120	H	H
249	23064	H	L	299	23121	H	H
250	23065	H	L	300	23122	H	H

جدول ۵. ادامه

Table 5. Continued.

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK
301	23123	L	L	325	23155	H	H
302	23125	H	H	326	23156	H	H
303	23126	H	H	327	23161	H	H
304	23128	H	L	328	23163	H	H
305	23129	H	H	329	23165	H	H
306	23130	H	H	330	23166	H	L
307	23131	H	H	331	23167	H	H
308	23132	H	H	332	23168	L	H
309	23133	H	H	333	23169	H	H
310	23136	H	H	334	23170	H	L
311	23138	H	H	335	23171	H	H
312	23139	H	H	336	23173	H	H
313	23140	H	H	337	23174	H	H
314	23141	H	H	338	23176	H	H
315	23142	H	H	339	23177	H	H
316	23143	H	H	340	23178	H	H
317	23145	H	H	341	23179	H	L
318	23146	H	L	342	23180	H	H
319	23147	H	H	343	23182	L	L
320	23148	H	H	344	23184	H	H
321	23150	H	H	345	23185	H	H
322	23151	H	H	346	23186	H	H
323	23152	H	H	347	Morocco	H	H
324	23154	H	H	348	McNair 701	H	H

L= Low infection type H= High infection type

پراکنش نژادهای *Pgt* در کشور در حال تغییر می‌باشد. به‌عبارت دیگر نژادهای جدید در مناطق مختلف کشور در حال جایگزین شدن هستند و متاسفانه بایستی ذکر کرد در ارقام تجاری مهم کشت شده در بیشتر مناطق کشور ژن‌های مقاومت موثر نسبت به نژادهای جدید و پرآزار عمدتا وجود ندارند یا محدود به یک ژن مقاومت می‌باشد (Dadrezaei and Nazari, 2015; Patpour *et al.*, 2014; Omrani *et al.*, 2017). همچنین نژادهای متعلق به گروه Ug99 که از نژادهای با پرآزاری بالا در سطح جهان شناخته می‌شوند نیز به‌وفور در مناطق مختلف در سال‌های اخیر شناسایی شده‌اند. حال بایستی سریعا اقدامات لازم برای این امر مهم در برنامه کاری محققانی که در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام مقاوم به بیماری زنگ به‌ویژه زنگ ساقه فعالیت دارند، قرار بگیرد. برای دو نژاد TTKSK و TTKTK متعلق به گروه نژادی Ug99 شناسایی شده در کشور از بین ژن‌های مقاومت موجود در مجموعه ارقام افتراقی امریکای شمالی دو ژن *Sr24* و *Sr36* به‌عنوان ژن‌های مقاومت موثر نسبت به هر دو نژاد مذکور معرفی می‌گردد. با توجه به تنوع ژنتیکی بالا در بین ژنوتیپ‌های سینتتیک هگزاپلوییید گندم مورد بررسی ۱۱ درصد ژنوتیپ‌ها نسبت به هر دو نژاد از گروه نژادی Ug99 مقاومت کامل یا در حد قابل قبول نشان دادند که به‌عنوان منابع مقاومت نسبت به نژادهای مذکور معرفی می‌گردند. از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای موثر موجود در این

جدول ٦. ژنوتیپ‌هایی که نسبت به هر دو نژاد TTKSK و TTKTK مقاوم بودند

Table 6. Genotypes that were resistant to both TTKSK and TTKTK races

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK
17	22818	L	L	161	22977	L	L
32	22833	L	L	164	22980	L	L
56	22861A	L	L	165	22981	L	L
62	22866	L	L	174	22989	L	L
67	22874	L	L	186	23001	L	L
69	22876	L	L	196	23011	L	L
81	22891	L	L	200	23015	L	L
98	22911	L	L	207	23022	L	L
101	22914	L	L	208	23023	L	L
104	22917	L	L	214	23029	L	L
105	22918	L	L	218	23033	L	L
111	22924	L	L	228	23043	L	L
113	22926	L	L	229	23044	L	L
117	22930	L	L	237	23052	L	L
144	22959	L	L	243	23058	L	L
145	22960	L	L	273	23089	L	L
148	22963	L	L	294	23116	L	L
151	22967	L	L	301	23123	L	L
160	22976	L	L	343	23182	L	L

L= Low infection type H= High infection type

جدول ۷. ژنوتیپ‌هایی که نسبت به نژاد TTKSK مقاوم و نسبت به نژاد TTKTK حساس بودند

Table 7. Genotypes that were resistant to TTKSK and susceptible to TTKTK

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK
10	22809	L	H	89	22902	L	H
28	22829	L	H	142	22957	L	H
58	22862	L	H	173	22988B	L	H
59	22863	L	H	202	23017	L	H
60	22864	L	H	251	23066	L	H
63	22869	L	H	265	23081	L	H
74	22882	L	H	285	23103	L	H
88	22901	L	H	332	23168	L	H

L= Low infection type H= High infection type

ژنوتیپ‌ها به‌همراه ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی برای ایجاد مقاومت موثر و پایدار در برابر بیماری زنگ ساقه در کشور بهره‌برداری نمود. شناسایی و ارایه ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری‌ها جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی یکی از راه‌هایی است که می‌تواند از طریق معرفی ارقام مقاوم منجر به تقلیل خسارت بیماری‌ها و کاهش مصرف بی‌رویه سموم در کنترل آن‌ها شود.

جدول ۸. ژنوتیپ‌هایی که نسبت به نژاد TTKSK حساس و نسبت به نژاد TTKTK مقاوم بودند

Table 8. Genotypes that were susceptible to TTKSK and resistant to TTKTK

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction TTKSK	واکنش Reaction TTKTK
34	22835	H	L	185	23000	H	L
53	22857	H	L	194	23009	H	L
57	22861B	H	L	199	23014	H	L
61	22865	H	L	212	23027	H	L
64	22870	H	L	269	23085	H	L
71	22878	H	L	304	23128	H	L
87	22900	H	L	318	23146	H	L
90	22903	H	L	330	23166	H	L
108	22921	H	L	334	23170	H	L
149	22965	H	L	341	23179	H	L

L= Low infection type H= High infection type

سپاسگزاری

بدین وسیله از ریاست محترم موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و ریاست بخش تحقیقات غلات آن موسسه که نهایت همکاری را در فراهم آوردن امکانات لازم برای انجام این تحقیق به‌عمل آوردند، و همچنین از کلیه کسانی که به‌نحوی در انجام آزمایش‌ها نگارندگان را یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Afshari F., Aghaee M., Jalal Kamali M.R., Roohparvar R., Malihipour A., Khodarahmi M., Ebrahimnejad Sh., Aghnum R., Chaichi M., Dadrezaei S.T., Dalvand M., Dehghan M.A., Zakeri A.K., Shahbazi K., Safari S.A., Tabatabaei N., Atahoseini M., Nabati E., Hooshyar R., Yasaei M., Nasrollahi M., Mehrabi R., Ghaffary T., Hashemi M., Patpour M. and Bayat Z. 2015. Surveillance and *Pgt* race analysis in Iran, 2014. Borlaug Global Rust Initiative, 123pp.

Anonymous .2005. FAOSTAT Database on Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org.

Anonymous .2020. MAS Wheat, Marker assisted selection in wheat. www.maswheat.ucdavis.edu.

Bhavani S., Hodson D.P., Huerta-Espino J., Randhawa M.S. and Singh R.P. 2019. Progress in breeding for resistance to Ug99 and other races of the stem rust fungus in CIMMYT wheat germplasm. Frontiers of Agricultural Science and Engineering 6(3): 210-224.

Dadrezaei S.T. and Nazari K. 2015. Detection of wheat rust resistance genes in some Iranian wheat genotypes by molecular markers. Seed and Plant Improvement Journal 31-1 (1): 163-187 (in Persian).

Fetch T., Zegeye T., Park R.F., Hodson D. and Wanyera R. 2016. Detection of wheat stem rust races TTHSK and PTKTK in the Ug99 race group in Kenya in 2014. Plant Disease 100(7): 1495-1495.

Jin Y., Szabo L.J., Pretorius Z.A., Singh R.P., Ward R. and Fetch T. 2008. Detection of virulence to resistance gene *Sr24* within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease 92: 923-926.

Kolmer J.A., Jin Y. and Long D.L. 2007. Wheat leaf and stem rust in the United States. Australian Journal of Agricultural Research 58: 631-638.

Leonard K.J. and Szabo L.J. 2005. Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. Molecular Plant Pathology 6: 99-111.

Ma H., Singh R.P. and Mujeeb-Kazi A. 1995. Resistance to stripe rust in *Triticum turgidum*, *T. tauschii* and their

synthetic hexaploids. Euphytica 82: 117-124.

McIntosh R.A., Wellings C.R. and Park R.F. 1995. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. Victoria, Australia: CSIRO, 213 pp.

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

Newcomb M., Olivera P.D., Rouse M.N., Szabo L.J., Johnson J., Gale S., Luster D.G., Wanyera R., Macharia G., Bhavani S. and Hodson D. 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(7): 729-736.

Omrani A., Aharizad S., Roohparvar R., Khodarahmi M. and Toorchi M. 2017. Identification of stem and leaf rust resistance genes in some promising wheat lines using molecular markers. Journal of Crop Biotechnology 18: 15-25 (in Persian).

Omrani A., Aharizad S., Roohparvar R., Khodarahmi M. and 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(27): 84-93.

Patpour M. 2013. Study on genetic and virulence diversity of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* populations in Iran and stem rust resistance genes in wheat. Ph.D. Thesis, In: Agricultural Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran, 165pp.

Patpour M., Hovmøller M.S., Shahin A.A., Newcomb M., Olivera P., Jin Y., Luster D., Hodson D., Nazari K. and Azab M., 2016. First report of the Ug99 race group of wheat stem rust, Puccinia graminis f. sp. tritici, in Egypt in 2014. Plant Disease 100(4): 863-863.

Patpour M., Nazari K., Ogbonnaya F., Alavi S. M. and Mousavi A. 2014. 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):1-14.

Pretorius Z.A, Singh R.P, Wagoire W.W. and Payne T.S. 2000. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis*. f. sp. *tritici* in Uganda. Plant Disease 84(2): 203-203.

Roohparvar R., Omrani A. 2018. Race analysis of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* led to identification of the new race TTKTK, affecting *Sr31* and *SrTmp*, in Iran. Borlaug Global Rust Initiative. www.globalrust.org.

Rouhparvar R., Omrani A., Rezaei A. and Rezaei S. 2019. First report of TTKSK (Ug99) race for wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) from the northwest of Iran. Society of Plant Pathology, Available at https://www.civilica.com/Paper-PPC01-PPC01_125.

Singh R.P., Huerta-Espino J., Bhavani S., Herrera-Foessel S.A., Singh D., Singh P.K., Velu G., Mason R.E., Jin Y., Njau P. and Crossa J. 2011. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. Euphytica 179:175-186.

Singh R.P., Hodson D.P., Jin Y., Huerta-Espino J., Kinyua M.G., Wanyera R., Njau P. and Ward R.W. 2006. Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 2006 1, No. 054.

Singh R.P., Hodson DP., Jin Y., Lagudah E.S., Ayliffe M.A., Bhavani S., Rouse MN., Pretorius Z.A., Szabo L.J., Huerta-Espino J., Basnet B.R., Lan C. and Hovmøller M.S. 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.

Xu S.S., Jin Y., Klindworth D.L., Wang R.R. and Cai X. 2009. Evaluation and characterization of seedling resistances to stem rust Ug99 races in wheat-alien species derivatives. Crop Science 49(6): 2167.

Zadoks J.C., Chang T.T. and Konzak C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14:415-21.