دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

فاکتورهای بیماری‌زایی جدایه‌های زنگ ساقه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) و شناسایی منابع مقاومت در ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم سیمیت

علی عمرانی[۱]، سعید اهری‌زاد[۲]، رامین روح‌پرور[۳]، منوچهر خدارحمی[۳] و محمود تورچی[۴]

۱ و ۴- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات و استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
۲- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، (نویسنده مسوول: s.aharizad@yahoo.com)
۳- استادیار، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۷

چکیده

بیماری زنگ ساقه گندم با عامل قارچی *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* یکی از مهم‌ترین بیماری‌های این محصول در جهان می‌باشد. یافتن منابع مقاومت جدید نسبت به این بیماری در ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم هگزاپلوییید به دلیل داشتن تنوع ژنتیکی بالا محتمل می‌باشد. به‌منظور آگاهی از ساختار ژنتیکی جمعیت عامل بیماری زنگ ساقه، ۱۲ جدایه تک جوش شده مربوط به مناطق گرگان و بروجرد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ تعیین نژاد شدند، سپس مقاومت ۳٤۸ ژنوتیپ سینتتیک گندم با استفاده از صفت تیپ آلودگی در مقیاس صفر تا ٤ نسبت به چهار جدایه از ۱۲ جدایه تعیین نژاد شده در مرحله گیاهچه‌ای با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از واکنش ارقام استاندارد و افتراقی گندم ضمن شناسایی دو نژاد TKTTF و TTTTF در بین تمامی جدایه‌ها، بیماری‌زایی چهار جدایه‌ی منتخب بر روی ژنوتیپ‌های حامل ژن‌های *Sr5 Sr6 Sr7a Sr7b Sr8a Sr8b Sr9a Sr9b Sr9d Sr9e Sr9g Sr10 Sr12 Sr14 Sr15 Sr16 Sr17 Sr18 Sr19 Sr20 Sr21 Sr22 Sr23 Sr28 Sr30 Sr34 Sr36 Sr37 Sr38 SrTmp* و *SrMcN* مشاهده گردید. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که در مرحله‌ی گیاهچه‌ای بین ژنوتیپ‌های گندم از نظر واکنش به جدایه‌های منتخب اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین معنی‌دار شدن اثر متقابل جدایه × ژنوتیپ حاکی از آن بود که در برخی از ژنوتیپ‌ها مقاومت اختصاص به جدایه داشتند. واکنش اختصاص به جدایه در ۱٦ درصد از ژنوتیپ‌ها مشاهده گردید، بدین معنی که حداقل در برابر یکی از جدایه‌ها واکنش مقاومت و در برابر جدایه‌های دیگر حساسیت وجود دارد. ٦۱ درصد ژنوتیپ‌ها نسبت به هر چهار جدایه حساس (تیپ آلودگی ۳ تا ٤) و ۲۳ درصد ژنوتیپ‌ها (مثل لاین‌های ۲۲۸٤۲، ۲۲۸۵۷، ۲۲۸٦۲، ۲۲۸٦۳، ۲۲۸٦٤) نسبت به همه‌ی آن‌ها مقاوم بودند (تیپ آلودگی صفر تا ۲)، ژنوتیپ‌های مقاوم دارای ژن‌های مقاومت موثر گیاهچه‌ای بوده و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی مقاومت به زنگ ساقه مورد استفاده قرار گیرند. نتایج این تحقیق اولین گزارش از مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به نژادهای غالب زنگ ساقه در ایران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تعیین نژاد، تیپ آلودگی، جدایه، مقاومت اختصاص به جدایه، *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

مقدمه

گندم غذای اصلی ۳۵ درصد از مردم جهان می‌باشد (۳). سطح زیر کشت گندم در سراسر جهان بیش از ۲۱۵ میلیون هکتار و برآورد تولید جهانی آن طبق آمار FAO، در حدود ۷۲۹ میلیون تن می‌باشد. سطح زیر کشت گندم در ایران حدود ۶/۳ میلیون هکتار و تولید آن در حدود ۱۴ میلیون تن می‌باشد (۲). بیماری‌های قارچی هوازی (به ویژه زنگ ساقه) از اصلی‌ترین محدودیت‌های زیستی برای تولید و پایداری عملکرد محصول گندم در جهان محسوب می‌شوند.

زنگ ساقه یا زنگ سیاه (Black or Stem rust) گندم، با عامل قارچی *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های گندم می‌باشد و می‌تواند به از بین رفتن کامل محصول در مزرعه منجر شود (۲۷). زنگ ساقه به کـرات به صورت همه‌گیری از مناطق مختلف جهان گزارش شده است. همه‌گیری زنگ ساقه در سال‌های ۱۹۱۹، ۱۹۲۰، ۱۹۲۳، ۱۹۲۷، ۱۹۳۵، ۱۹۵۳ و ۱۹۵۴ در آمریکا بر روی گندم به وقوع پیوست (۲۰). گزارشاتی از خسارت به محصول گندم ناشی از همه‌گیری زنگ ساقه در کانادا (۸)، جنوب آمریکا (۶)، قاره اروپا، شبه قاره هند و استرالیا (۱۷)، جنوب آفریقا (۱۹)، شرق آفریقا (۲۸) و چین (۲۱) وجود دارد. آخرین همه‌گیری شدید در جنوب اتیوپی در سال ۲۰۱۴ گزارش شده است (۱۵). در ایران نیز تاکنون همه‌گیری این بیماری دو بار، سال ۱۳۴۵ در مناطق شمالی و شمال‌غرب (۲۳) و دومین بار در سال ۱۳۵۵، در مناطق جنوبی و جنوب‌شرقی کشور گزارش شده است (۴). این بیماری در سال‌های بعد در مناطق مختلف کشور خسارت‌های متفاوتی به محصول گندم وارد کرده است ولی میزان خسارت‌ها به دلیل شناسایی نژادهای فیزیولوژیک و روند تغییرات در نژادهای موجود در کشور در هر سال و انجام کارهای به‌نژادی بر اساس اطلاعات تعیین نژاد، نسبتا قابل قبول بوده و به صورت همه‌گیری شدید که کل محصول در مزرعه از بین برود، بیماری زنگ ساقه مشاهده نشده است. در برخی سال‌ها نیز به دلیل مساعد نبودن شرایط آب و هوایی برای گسترش این بیماری خسارت در حد بسیار ناچیز بوده است (۱).

ظهور نژاد Ug99 قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* و واریانت‌های جدید آن در دهه‌های اخیر از شرق و جنوب آفریقا، با شکستن اثر بخشی اکثر ژن‌های مقاومت موثر قبلی موجود در ژرم پلاسم جهانی و ایجاد بیماری‌زایی در ژنوتیپ‌های گندم واقع در مسیر حرکت این نژاد امنیت غذایی را در کل کشورهای جهان به خطر انداخته است (۲۵). عامل

بیماری به دلیل داشتن چرخه‌ی زندگی کامل، پیوسته با ایجاد نوترکیبی‌های ژنی در حال تغییر ساختار ژنتیکی خود می‌باشد و در سال‌های اخیر نژادهای جدیدی را با الگوی بیماری‌زایی متفاوت به وجود آورده است. طبق گزارشات منتشر شده در همه‌گیری‌های اخیر نژادهای دیگری به جز Ug99 با الگوی بیماری‌زایی متفاوت باعث خسارت به گندم شده است (۱۵). به کارگیری مقاومت ژنتیکی در ارقام، کم هزینه‌ترین، مطمئن‌ترین و به لحاظ زیست محیطی سالم‌ترین روش کنترل زنگ‌ها به شمار می‌رود (۵). از سال ۲۰۰۰ میلادی تلاش‌های بین‌المللی فراوانی برای کنترل زنگ ساقه از طریق وارد کردن ژن‌های مقاومت جدید در ژرم پلاسم جهانی گندم صورت گرفته است (۲۴،۲۲). بر اساس نتایج یک پژوهش در کنیا، کاهش عملکرد ۴۰ لاین پیشرفته گندم در مزرعه آلوده به زنگ ساقه (نژاد Ug99) مورد ارزیابی قرار گرفته و سه ژنوتیپ با کاهش عملکرد پایین‌تر و عملکرد قابل قبول‌تر معرفی گردید (۲۹). در آزمایش دیگری ارزیابی ۵۰ ژنوتیپ گندم نسبت به‌نژادی از Ug99 در دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل نشان داد که شش ژنوتیپ با منشا سیمیت در هر دو مرحله و چهار ژنوتیپ نیز در مرحله گیاه کامل مقاومت قابل قبول داشتند و بقیه ژنوتیپ‌ها حساس بودند (۱۴). موجرلو و همکاران (۱۲) به منظور شناسایی منابع جدید مقاومت به زنگ ساقه با ارزیابی ۶۲ ژنوتیپ گندم بومی نسبت به نژاد Ug99 در مرحله گیاهچه‌ای، ۳۹ ژنوتیپ دارای واکنش مقاومت کامل یا نیمه مقاومت را معرفی نمودند. محمدی و همکاران (۱۱) حساسیت در سطح بالا را در ارقام و لاین‌های اصلاح شده ایران نسبت به نژاد Ug99 گزارش نمودند.

عدم وجود تنوع ژنتیکی کافی در ژرم پلاسم گندم، از مشکلات اساسی به‌نژادی برای افزایش محصول در برابر تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی به‌منظور تامین تقاضای روز افزون گندم و ایجاد امنیت غذایی در جهان می‌باشد. بنابراین برای روبرو شدن با انواع تنش‌های پیش رو در آینده ناگزیر به حفظ ذخایر ژنتیکی موجود و شناسایی تنوع ژنتیکی و ایجاد تنوع‌های ژنتیکی جدید در ژرم پلاسم مورد نیاز است. با توجه به روند ایجاد گندم‌های هگزاپلوئید سینتتیک، این گونه ژنوتیپ‌ها با داشتن تنوع ژنتیکی بالا از مهم‌ترین مواد در برنامه‌های اصلاحی مرکز بین‌المللی اصلاح ذرت و گندم سیمیت (CIMMYT: The International Maize and Wheat Improvement Center) بوده و به‌عنوان منابع ژنتیکی ارزشمند در برنامه‌های اصلاحی گندم ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌منظور به‌کارگیری این منابع ژنتیکی در برنامه‌های اصلاح برای مقاومت به بیماری بایستی وضعیت مقاومت آن‌ها نسبت به بیماری‌های مهم گندم به‌ویژه زنگ‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

با توجه به اطلاعات ناچیز در رابطه با مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به نژادهای غالب عامل بیماری زنگ ساقه در ایران، در تحقیق حاضر به‌منظور تعیین بیماری‌زایی (ویرولانس) عامل بیماری، روی ژن‌های مقاومت در جدایه‌های مناطق گرگان و بروجرد مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ جدایه‌ها تعیین نژاد شدند. چهار جدایه از مجموع جدایه‌های تعیین نژاد شده در این پژوهش برای تعیین واکنش مقاومت ۳۴۸ ژنوتیپ سینتتیک در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به بیماری زنگ ساقه مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه، جداسازی، خالص‌سازی، تک جوش کردن و تکثیر جدایه‌ها

در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ از برگ و ساقه‌ی گندم‌های آلوده به زنگ ساقه در مناطق گرگان (اقلیم گرم و مرطوب شمال) و بروجرد (اقلیم معتدل) نمونه‌های آلوده جمع‌آوری شده و به گلخانه‌ی زنگ ساقه در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات (موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج) منتقل گردید. نمونه‌های جمع‌آوری شده ابتدا با آب مقطر شستشو داده شده و به مدت ۲۴ ساعت داخل پتری دیش بر روی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شدند. یوردینیوسپورهای زنگ ساقه مستقر در جوش‌های یوردینیای موجود در اندام‌های آلوده که با جذب رطوبت فعال می‌شوند، در گلخانه بر روی رقم حساس مک‌نیر ۷۰۱ (McNair 701) مایه‌زنی و تکثیر شدند. به‌منظور حذف یوردینیسپورهای زنگ قهوه‌ای در بعضی از نمونه‌ها چند دوره تکثیر و خالص‌سازی انجام شده و اسپورهای خالص زنگ ساقه پس از تکثیر از روی رقم حساس جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفتند.

برای تک پاستول (تک‌جوش) کردن جدایه‌ها که به‌منظور جدا کردن نژادهای احتمالی مخلوط در جدایه‌های جمع‌آوری شده یک منطقه انجام می‌شود، چند جوش به صورت تصادفی بدون در نظر گرفتن بزرگی و کوچکی جوش‌ها بر روی گیاهچه‌های حساس مایه زنی شده قبلی انتخاب شده و قطعات برگی حاوی تک جوش‌ها با قیچی جدا شدند. این قطعات پس از شستشو با آب مقطر در پتری دیش‌های جداگانه روی کاغذ صافی مرطوب در یخچال نگهداری شد. پس از ۲۴ ساعت به کمک گوش پاک کن اسپورها به صورت جداگانه از روی جوش‌ها بر روی گیاهچه‌های حساس مک‌نیر ۷۰۱ مایه‌زنی و تکثیر شد. برای هر یک از مناطق گرگان و بروجرد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ یک نمونه جمع‌آوری شد و از هر نمونه، سه تک جوش به عنوان جدایه‌های مستقل جدا گردید و در مجموع ۱۲ جدایه تعیین نژاد شد.

تعیین نژاد جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

تعیین نژاد جدایه‌های خالص‌سازی شده مربوط به مناطق گرگان و بروجرد به‌منظور تعیین بیماری‌زایی (ویرولانس) بر روی ژن‌های مختلف مقاومت به زنگ ساقه انجام گردید. برای تعیین نژاد جدایه‌ها از دو مجموعه ارقام استاندارد و افتراقی شامل مجموعه اصلی۲۰تایی آمریکای شمالی (NA) دریافتی از سیمیت (جدول ۱) و مجموعه ۴۵تایی تکمیلی دریافتی از ایکاردا (جهت تایید واکنش مجموعه ۲۰تایی آمریکایی و تعیین واکنش سایر ژن‌ها) استفاده گردید و نام‌گذاری نژادها بر اساس مجموعه ۲۰تایی آمریکایی انجام شد. پس از جوانه‌زنی بذر ژنوتیپ‌های استاندارد و افتراقی در خاک مزرعه، گیاهچه‌ها هنگامی که برگ اول به رشد کامل رسیده و برگ دوم در حال ظاهر شدن بود (مرحله‌ی ۱۲ در مقیاس زادوکس) (۳۰)، با مخلوطی از یوردینیوسپور خالص تکثیر شده و روغن صنعتی سالترول ۱۷۰ مایه‌زنی شدند. سپس گیاهچه‌ها با آب مقطر مه‌پاشی گردیده و به منظور جلوگیری از اختلاط اسپور سایر نژادها در گلخانه و حفظ رطوبت با استفاده از سرپوش‌های پلاستیکی پوشانده شد و به مدت ۲۴ ساعت

در تاریکی با دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت اشباع قرار گرفتند. سپس گیاهچه‌ها به مدت ۱۴ روز به گلخانه با دمای ۲۲ درجه با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی با شدت ۱۲۰۰۰ لوکس و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. یادداشت برداری از واکنش گیاهچه‌ها بر اساس تیپ آلودگی در مقیاس صفر تا ۴ استاکمن و همکاران (۲۶)، انجام گردید. نام‌گذاری نژادها با استفاده از سیستم کددهی رولفز و همکاران (۲۱) صورت گرفت.

مقیاس صفر تا ۴ برای ثبت صفت تیپ آلودگی ژنوتیپ‌ها به صورت زیر یادداشت‌برداری شد (شکل ۱).

تیپ آلودگی (0): هیچ جوش یا نشانه دیگری از عامل بیماری دیده نمی‌شود.

تیپ‌های آلودگی فلک (;): هیچ جوشی وجود ندارد اما لکه‌های فوق حساسیت کلروز و نکروز دیده می‌شود.

تیپ‌های آلودگی (۱): جوش‌های خیلی کوچک که توسط لکه‌های نکروز احاطه شده‌اند.

تیپ‌های آلودگی (۲): جوش‌های کوچک تا متوسط که توسط لکه‌های کلروز یا نکروز احاطه شده‌اند.

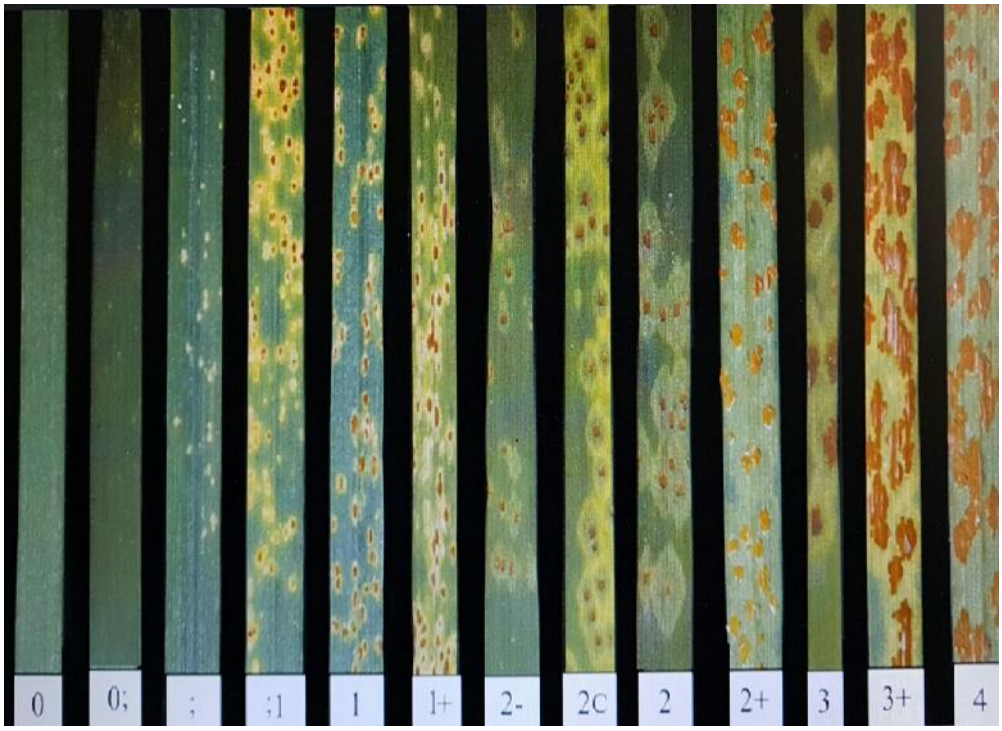
تیپ‌های آلودگی (۳): جوش‌های متوسط تا نسبتا بزرگ که ممکن است با کلروز همراه باشد.

تیپ آلودگی (۴): جوش‌های خیلی بزرگ بدون کلروز و یا نکروز.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های افتراقی گندم در مجموعه آمریکای شمالی مورد استفاده در شناسایی نژادهای *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

Table 1. North American differential wheat genotypes used for race analysis of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

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*



شکل ۱- مقیاس صفر تا ۴ استاکمن و همکاران (۲۶) جهت تعیین تیپ آلودگی برای بیماری زنگ ساقه گندم

Figure 1. Scale of 0-4 Stakman *et al* (26) to determine the infection type for wheat stem rust disease

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در گلخانه در مرحله گیاهچه‌ای

گندم‌های هگزاپلوید سینتتیک تولید شده در مرکز بین‌المللی اصلاح ذرت و گندم سیمیت (CIMMYT) که از تلاقی بین گونه تتراپلوید *Triticum turgidum* و گونه دیپلوید *Aegilops tauschii* و با دو برابر شدن کروموزوم‌ها تولید شده بودند از طریق موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر دریافت گردید. در این تحقیق واکنش مقاومت ۳۴۸ ژنوتیپ گندم که شامل ۳۴۶ ژنوتیپ سینتتیک و دو رقم حساس موروکو و مک‌نیر ۷۰۱ به‌عنوان شاهد نسبت به چهار جدایه عامل بیماری زنگ ساقه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار در مرحله گیاهچه‌ای ارزیابی گردید. کلیه مراحل آزمایش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌های سینتتیک در گلخانه مشابه آزمایش‌های تعیین نژاد انجام شده در گلخانه بود که توضیح داده شد و صفت تیپ آلودگی گیاهچه ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نیز ۱۴ روز پس از مایه‌زنی بر اساس مقیاس صفر تا ۴ ثبت گردید.

تجزیه داده‌های صفت تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های گندم

آزمون نرمالیتی برای توزیع انحرافات داده‌های مربوط به تیپ آلودگی در شرایط گلخانه‌ای به وسیله نرم‌افزار Minitab انجام گرفت و داده‌ها با تبدیل جذری نرمال گردیده، سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به این‌که ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به جدایه‌های مختلف در زمان‌های متفاوت انجام گرفت، شرایط گلخانه از لحاظ نور و دما در فصول مختلف سال کمی متفاوت بود، بنابراین از تجزیه واریانس مرکب برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. هر جدایه معادل مکان در طرح آزمایشی در نظر گرفته شد. جهت تجزیه واریانس مرکب طرح آزمایشی از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و برای آزمون نرمالیتی از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ استفاده گردید.

نتایج و بحث

شناسایی نژادها و تفاوت‌های نژادهای جمع‌آوری شده

با توجه به ارزش‌های تعیین شده برای هر یک از ارقام استاندارد و افتراقی مجموعه ۲۰تایی آمریکایی، بر اساس مقیاس صفر تا ۴ استاکمن و همکاران (۲۶) و سیستم کددهی رولفز و همکاران (۲۱) برای تعیین نژادها مشخص شد که هر سه جدایه تک جوش شده منطقه گرگان در سال ۱۳۹۳ نژاد TKTTF می‌باشد. به‌دلیل مشابه بودن نژاد هر سه جدایه منطقه گرگان در سال ۱۳۹۳ جدایه 1-1-93 انتخاب شده و الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی ۴۵ تایی شامل تعداد دیگری از ژن‌های مقاومت به زنگ ساقه تعیین گردید. از سه جدایه تک جوش شده منطقه گرگان در سال ۱۳۹۴ بر اساس مجموعه ۲۰تایی آمریکایی یکی نژاد TKTTF و دو تای دیگر نژاد TTTTF تعیین شدند. برای جدایه 2-1-94 (نژاد TTTTF) الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی ۴۵تایی نیز تعیین گردید. هر سه جدایه تک جوش شده منطقه بروجرد در سال ۱۳۹۳ براساس مجموعه ۲۰تایی آمریکای شمالی نژاد TKTTF می‌باشد. به دلیل مشابهت نژادی هر سه جدایه منطقه بروجرد در سال ۱۳۹۳ نیز تنها الگوی بیماری‌زایی جدایه 93-12-1 در مجموعه تکمیلی ۴۵ تایی تعیین گردید. از سه جدایه تک جوش شده منطقه بروجرد در سال ۱۳۹۴ یک نژاد TKTTF و دو تای دیگر نژاد TTTTF بودند. برای جدایه 2-8-94 (نژاد TTTTF) سال ۱۳۹۴ الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی ۴۵تایی تعیین گردید (جدول ۲).

تفاوت دو نژاد TKTTF و TTTTF در مجموعه ۲۰تایی آمریکای شمالی واکنش ژنوتیپ حامل ژن *Sr11* می‌باشد. واکنش این ژنوتیپ نسبت به نژاد TKTTF به صورت مقاومت و نسبت به نژاد TTTTF به صورت حساسیت است. الگوی بیماری‌زایی در مجموعه تکمیلی برای دو نژاد TKTTF و TTTTF در مناطق مذکور متفاوت بود. واکنش ژنوتیپ‌های حامل ژن‌های *Sr25*، *Sr29* و *Sr32* نسبت به نژاد TKTTF به صورت مقاومت و در مقابل نژاد TTTTF به صورت حساسیت مشاهده گردید. تفاوت اصلی نژادهای منطقه گرگان با نژادهای منطقه بروجرد در واکنش ژنوتیپ حامل ژن *Sr35* به صورت حساسیت نسبت به نژادهای منطقه بروجرد (هر دو نژاد TKTTF و TTTTF) و مقاومت نسبت به نژادهای منطقه گرگان مشاهده گردید. همچنین نژاد TTTTF جمع‌آوری شده از منطقه بروجرد از نژاد TTTTF مربوط به منطقه گرگان روی تعداد بیشتری از ژن‌های مقاومت به زنگ ساقه بیماری‌زایی داشتند. بر اساس نتایج آزمایش‌های تعیین نژاد، دو نژاد TKTTF و TTTTF نژادهای غالب مناطق گرگان و بروجرد تعیین گردیدند. در سال ۱۳۹۳ نژاد TKTTF و در سال ۱۳۹۴ نژاد TTTTF با فراوانی ۶۷ درصد نژاد غالب در هر دو منطقه شناسایی گردید.

شناسایی فاکتورهای بیماری‌زایی

بر اساس نتایج حاصل از واکنش ارقام استاندارد و افتراقی نسبت به چهار جدایه مناطق مورد مطالعه، بیماری‌زایی بر روی ژنوتیپ‌های افتراقی حامل ژن‌های *Sr5* *Sr6* *Sr7a* *Sr7b* *Sr8a* *Sr8b* *Sr9a* *Sr9b* *Sr9d* *Sr9e* *Sr9g* *Sr10* *Sr12* *Sr14* *Sr15* *Sr16* *Sr17* *Sr18* *Sr19* *Sr20* *Sr21* *Sr22* *Sr23* *Sr28* *Sr34* *Sr36* *Sr37* *Sr38* *SrTmp* و *SrMcN* و عدم بیماری‌زایی بر روی ژنوتیپ‌های افتراقی حامل ژن‌های *Sr24* *Sr26* *Sr27* *Sr31* *Sr33* *Sr39* و *Sr40* مشاهده گردید (جدول ۲).

پاتپور و همکاران (۱۸) با بررسی نژادهای مختلف عامل بیماری زنگ ساقه در ایران، ژن‌های مقاومت *Sr5* *Sr6* *Sr7b* *Sr8a* *Sr9b* *Sr9e* *Sr9g* *Sr10* *Sr11* *Sr21* *Sr30* و *SrMcN* را نسبت به همه‌ی نژادها و ژن‌های *Sr9a* *Sr9d* *Sr36* و *SrTmp* را نسبت به اکثر نژادهای مورد بررسی بی‌اثر گزارش نمودند.

تجزیه مرکب تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم در مقابل تمام جدایه‌های عامل بیماری زنگ ساقه

ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای ۳۴۸ ژنوتیپ گندم شامل ۳۴۶ ژنوتیپ سینتتیک گندم و دو رقم حساس موروکو و مک‌نیر ۷۰۱ با استفاده از چهار جدایه منتخب تعیین نژاد شده عامل بیماری زنگ ساقه مربوط به مناطق گرگان و بروجرد در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در شرایط گلخانه‌ای انجام گردید.

نتایج به دست آمده نشان داد که برای تیپ آلودگی اختلاف بسیار معنی‌داری بین واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به جدایه‌ها وجود دارد (جدول ۳). این امر نشان دهنده تفاوت‌های ژنتیکی در میان ژنوتیپ های گندم مورد مطالعه می‌باشد. تنوع ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های گندم برای صفت مذکور توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۱۶،۷). همچنین با توجه به معنی‌دار شدن میانگین مربعات جدایه × ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد می‌توان استنباط نمود که ژنوتیپ‌ها در مقابل جدایه‌های مختلف واکنش یکسان ندارند و میانگین صفت تیپ آلودگی در هر ژنوتیپ از جدایه‌ای به جدایه دیگر متفاوت می‌باشد. به‌عبارت دیگر بعضی از ژنوتیپ‌ها در مقابل یک یا چند جدایه مقاوم و در مقابل

جدایه‌های دیگر حساس هستند که نشان‌دهنده مقاومت اختصاصی (Specific resistance) است. این نوع مقاومت در اکثر مواقع توسط ژن‌های محدودی کنترل می‌شود (۹).

جدول ۲- واکنش ارقام استاندارد و افتراقی حامل ژن‌های مقاومت نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

Table 2. Reaction of standard and differential cultivars carrying resistance genes to isolates of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

Code	Race	Location	Effective / Ineffective genes
			TKTTF
93-1-1*	TKTTF	Gorgan	*Sr11, 13, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 35, 39, 40 / Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 28, 30, 34, 36, 37, 38, Tmp, McN*
93-1-2	TKTTF	Gorgan	
93-1-3	TKTTF	Gorgan	
			TTTTF
94-1-1	TKTTF	Gorgan	*Sr 24, 26, 27, 31, 33, 35, 39, 40 / Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 30, 32, 34, 36, 37, 38, Tmp, McN*
94-1-2*	TTTTF	Gorgan	
94-1-3	TTTTF	Gorgan	
			TKTTF
93-12-1*	TKTTF	Brojerd	*Sr11, 13, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 39, 40 / Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 28, 30, 34, 35, 36, 37, 38, Tmp, McN*
93-12-2	TKTTF	Brojerd	
93-12-3	TKTTF	Brojerd	
			TTTTF
94-8-1	TKTTF	Brojerd	*Sr 13, 24, 26, 27, 31, 33, 39, 40 /Sr5, 6, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9d, 9e, 9g, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, Tmp, McN*
94-8-2*	TTTTF	Brojerd	
94-8-3	TTTTF	Brojerd	

*: جدایه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های بررسی واکنش مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفت تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

Table 3. Combined analysis of variance for infection type of synthetic wheat genotypes to *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات Ms
		تیپ آلودگی
جدایه Isolate	۳	۱۵/۱۱**
تکرار در جدایه	۴	۳/۹۱
ژنوتیپ Genotype	۳۴۷	۹۸/۷۲**
جدایه× ژنوتیپ Genotype× Isolate	۱۰۴۱	۴۵/۱۴**
خطا Error	۱۳۸۸	۳/۷۳
درصد ضریب تغییرات CV%		۱۲/۰۲

* و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد

واکنش ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به جدایه‌های عامل بیماری زنگ ساقه

در بررسی مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم در مرحله گیاهچه‌ای نسبت به جدایه‌های مورد مطالعه‌ی تعیین نژاد شده (جدول ۴)، ۶۱ درصد ژنوتیپ‌ها (۲۱۲ عدد) تیپ آلودگی حساسیت (۳ تا ۴) داشتند. در این ژنوتیپ‌ها ژن‌های مقاومت موثر گیاهچه‌ای در برابر نژادهای TKTTF و TTTTF وجود ندارد. ۲۳ درصد ژنوتیپ‌ها (۷۹ عدد) تیپ آلودگی مقاومت (صفر تا ۲) نسبت به همه جدایه‌ها داشتند. در این ژنوتیپ‌ها احتمالا یکی از ژن‌های مقاومت موثر گیاهچه‌ای *Sr24*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr31*، *Sr33*، *Sr39* و *Sr40* یا ترکیبی از آن‌ها وجود داشته که توانسته‌اند در برابر نژادهای TKTTF و TTTTF که از نژادهای مهم زنگ ساقه هستند ایجاد مقاومت نماید. البته مقاومت ایجاد شده می‌تواند توسط ژن‌های مقاومتی که تا کنون شناسایی نشده است و یا ترکیب‌های آن‌ها با ژن‌های مقاومت موثر شناسایی شده ایجاد شده باشد به دلیل اینکه یکی از والدهای ژنوتیپ‌های سینتتیک از خویشاوندان وحشی گندم می‌باشد. سایر ژنوتیپ‌ها (۵۷ ژنوتیپ معادل ۱۶ درصد) با بروز واکنش‌های افتراقی مقاومت یا حساسیت نسبت به چهار جدایه مقاومت اختصاص به جدایه (Isolate- specific resistance) را نشان دادند بدین معنی که نسبت به بعضی از جدایه‌ها مقاوم و در برابر برخی دیگر حساس بودند (شکل ۲). فراوانی واکنش‌های مختلف مقاومت اختصاص به جدایه‌ها در ۵۷ ژنوتیپ سینتتیک گندم در شکل ۳ قابل مشاهده است. نتایج به دست آمده نشان داد که چهار درصد این ژنوتیپ‌ها (۲ ژنوتیپ) تنها نسبت به جدایه TKTTF منطقه گرگان سال ۱۳۹۳ مقاوم بودند (گروه A) پنج درصد ژنوتیپ‌ها (۳ ژنوتیپ) در گروه C قرار گرفتند که تنها نسبت به جدایه TKTTF منطقه بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم بودند، شصت و سه درصد ژنوتیپ‌ها (۳۶ ژنوتیپ) نسبت به جدایه‌های TKTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم بوده (گروه AC) چهارده درصد

آن‌ها (۸ ژنوتیپ) در گروه ABC جای گرفتند که نسبت به جدایه‌های TKTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۳ و جدایه TTTTF منطقه گرگان سال ۱۳۹۴ مقاوم بودند، دوازده درصد ژنوتیپ‌ها (۷ ژنوتیپ) با قرار گرفتن در گروه ACD نسبت به جدایه‌های TKTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۳ و جدایه TTTTF منطقه بروجرد سال ۱۳۹۴ مقاوم بودند و دو درصد ژنوتیپ‌ها (یک ژنوتیپ) در گروه BCD قرار گرفتند که نسبت به جدایه‌های TTTTF مناطق گرگان و بروجرد سال ۱۳۹۴ و جدایه TKTTF منطقه بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم بودند. ردیابی احتمالی ژن‌های مقاومت در ژنوتیپ‌های با مقاومت اختصاص به نژاد به دلیل کم بودن نژادها و تنوع در آن‌ها میسر نیست. در همه ژنوتیپ‌های سینتتیک مورد مطالعه حتی ژنوتیپ‌های حساس در مرحله گیاهچه‌ای این احتمال وجود دارد که ژن‌های مقاومت موثر در مرحله گیاه کامل در این ژنوتیپ‌ها وجود داشته باشند مهرابی و همکاران (۱۰)، نیز با در نظر گرفتن تنوع بالا در ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم و یافتن منابع مقاومت نسبت به بیماری لکه برگی سپتوریایی با ارزیابی مقاومت ۱۲۸ ژنوتیپ سینتتیک گندم نسبت به ۱۱ جدایه عامل بیماری لکه برگی سپتوریایی مشاهده نمودند که هر چند منابع مقاومت به این بیماری در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در سراسر جهان بسیار کمتر از منابع مقاومت به زنگ‌ها می‌باشد، با این وجود از ۱۴۰۸ واکنش بین ژنوتیپ‌های سینتتیک و جدایه‌های عامل این بیماری، ۳۰۴ واکنش مقاومت اختصاص به جدایه ثبت گردید.

از نتایج تحقیق حاضر به‌عنوان اولین گزارش از مقاومت ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم در مقابل بیماری زنگ ساقه در ایران به صورت استفاده‌ی صرف از ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای شناسایی شده و یا همراه با ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی برای ایجاد مقاومت موثر و پایدار در برابر بیماری زنگ ساقه در کشور مورد بهره برداری قرار گیرد. 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.

تشکر و قدردانی

کلیه مراحل اجرای این پژوهش در واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی) در کرج به انجام رسیده است. بدین وسیله از آقایان مهندس اسماعیل ابراهیمی، امیر کبیری، علیرضا دربندی، محسن سرهنگی، شاهین قویدل و خانم‌های مهندس زهره حسن بیات و الهام حسنی که در فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این تحقیق نهایت همکاری را به عمل آوردند، قدردانی می‌گردد.

جدول ۴- واکنش ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*

Table 4. Reaction of synthetic wheat genotypes to *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction
1	22797	H	41	22843	C	81	22891	L
2	22798	H	42	22844	H	82	22893	AC
3	22799	H	43	22845	C	83	22894	ABC
4	22800	AC	44	22846	H	84	22895	L
5	22801	H	45	22847	H	85	22896	H
6	22802	H	46	22849	AC	86	22899	H
7	22803	H	47	22850	L	87	22900	AC
8	22805	H	48	22851	H	88	22901	L
9	22808	H	49	22852	H	89	22902	L
10	22809	AC	50	22853	H	90	22903	L
11	22811	H	51	22855	H	91	22904	H
12	22812	H	52	22856	H	92	22905	AC
13	22813	H	53	22857	L	93	22906	L
14	22815	H	54	22858	H	94	22907	H
15	22816	H	55	22860B	H	95	22908	H
16	22817	H	56	22861A	ABC	96	22909	H
17	22818	ABC	57	22861B	AC	97	22910	H
18	22819	H	58	22862	L	98	22911	ACD
19	22820	H	59	22863	L	99	22912	H
20	22821	H	60	22864	L	100	22913	H
21	22822	H	61	22865	L	101	22914	L
22	22823	ABC	62	22866	L	102	22915	L
23	22824	H	63	22869	H	103	22916	L
24	22825	A	64	22870	C	104	22917	L
25	22826	H	65	22871	H	105	22918	L
26	22827	H	66	22873	H	106	22919	H
27	22828	H	67	22874	ACD	107	22920	H
28	22829	H	68	22875	H	108	22921	H
29	22830	H	69	22876	L	109	22922	H
30	22831	H	70	22877	H	110	22923	H
31	22832	H	71	22878	L	111	22924	H
32	22833	H	72	22879	H	112	22925	H
33	22834	A	73	22881	H	113	22926	AC
34	22835	AC	74	22882	AC	114	22927	H
35	22836	H	75	22884	H	115	22928	L
36	22837	H	76	22885	H	116	22929	L
37	22838	H	77	22886	H	117	22930	H
38	22839	H	78	22887	H	118	22931	H
39	22840	H	79	22888	L	119	22932	H
40	22842	L	80	22889	AC	120	22933	H

L: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده مقاومت دارد

H: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده حساسیت دارد

A: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد

B: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد

C: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد

D: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد

ادامه جدول ۴

Continued Table 4.

ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction	ردیف Entry	شماره کلکسیون Collection Number	واکنش Reaction
121	22934	H	166	22982	H	211	23026	H
122	22935	H	167	22983	H	212	23027	L
123	22936	L	168	22984	ACD	213	23028	H
124	22937	L	169	22985	H	214	23029	AC
125	22938	L	170	22986	H	215	23030	H
126	22939	H	171	22987	H	216	23031	L
127	22940	H	172	22988A	H	217	23032	H
128	22941	H	173	22988B	L	218	23033	L
129	22942	H	174	22989	AC	219	23034	H
130	22943	ABC	175	22990	L	220	23035	L
131	22944	H	176	22991	L	221	23036	AC
132	22945	L	177	22992	H	222	23037	H
133	22948	H	178	22993	AC	223	23038	L
134	22949	H	179	22994	H	224	23039	H
135	22950	H	180	22995	H	225	23040	H
136	22951	H	181	22996	H	226	23041	H
137	22952	H	182	22997	AC	227	23042	H
138	22953	H	183	22998	H	228	23043	H
139	22954	H	184	22999	H	229	23044	H
140	22955	H	185	23000	L	230	23045	L
141	22956	H	186	23001	L	231	23046	H
142	22957	L	187	23002	L	232	23047	H
143	22958	H	188	23003	H	233	23048	H
144	22959	L	189	23004	H	234	23049	H
145	22960	AC	190	23005	H	235	23050	H
146	22961	H	191	23006	L	236	23051	H
147	22962	AC	192	23007	AC	237	23052	L
148	22963	L	193	23008	L	238	23053	H
149	22965	H	194	23009	ACD	239	23054	H
150	22966	ACD	195	23010	L	240	23055	H
151	22967	ABC	196	23011	ACD	241	23056	H
152	22968	AC	197	23012	H	242	23057	H
153	22969	H	198	23013	AC	243	23058	AC
154	22970	H	199	23014	ABC	244	23059	H
155	22971	H	200	23015	AC	245	23060	H
156	22972	H	201	23016	L	246	23061	H
157	22973	H	202	23017	AC	247	23062	H
158	22974	H	203	23018	H	248	23063	H
159	22975	H	204	23019	H	249	23064	L
160	22976	AC	205	23020	AC	250	23065	L
161	22977	AC	206	23021	L	251	23066	AC
162	22978	H	207	23022	H	252	23068	H
163	22979	H	208	23023	H	253	23069	H
164	22980	L	209	23024	H	254	23070	L
165	22981	AC	210	23025	H	255	23071	H
256	23072	L	288	23107	H	320	23148	H
257	23073	L	289	23108	H	321	23150	H
258	23074	L	290	23109	L	322	23151	H
259	23075	L	291	23111	L	323	23152	H
260	23076	L	292	23112	H	324	23154	H
261	23077	H	293	23115	AC	325	23155	H
262	23078	H	294	23116	L	326	23156	H
263	23079	L	295	23117	L	327	23161	H
264	23080	L	296	23118	H	328	23163	H
265	23081	L	297	23119	L	329	23165	H
266	23082	H	298	23120	H	330	23166	AC
267	23083	H	299	23121	L	331	23167	ABC
268	23084	H	300	23122	H	332	23168	H
269	23085	L	301	23123	AC	333	23169	H
270	23086	H	302	23125	H	334	23170	L
271	23087	H	303	23126	H	335	23171	H
272	23088	H	304	23128	L	336	23173	AC
273	23089	L	305	23129	H	337	23174	AC
274	23090	H	306	23130	H	338	23176	H
275	23091	H	307	23131	H	339	23177	H
276	23093	H	308	23132	H	340	23178	H
277	23094	BCD	309	23133	H	341	23179	L
278	23095	L	310	23136	L	342	23180	H
279	23096	L	311	23138	H	343	23182	ACD
280	23097	H	312	23139	H	344	23184	H
281	23099	H	313	23140	H	345	23185	H
282	23100	L	314	23141	H	346	23186	L
283	23101	H	315	23142	H	347	Morocco	H
284	23102	L	316	23143	H	348	McNair 701	H
285	23103	AC	317	23145	H			
286	23104	H	318	23146	L			
287	23105	H	319	23147	AC			

L: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده مقاومت دارد

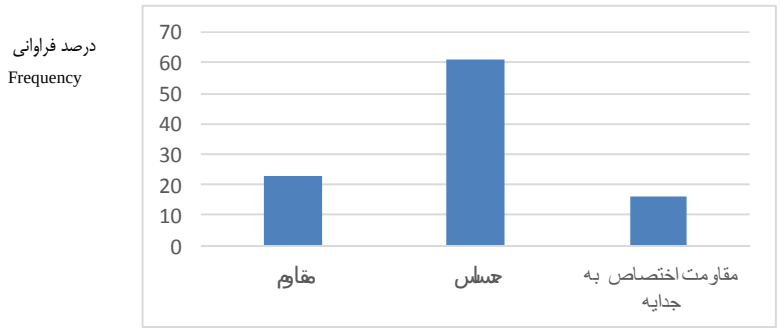
H: ژنوتیپ در برابر همه‌ی جدایه‌های مورد استفاده حساسیت دارد

A: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد

B: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی گرگان سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد

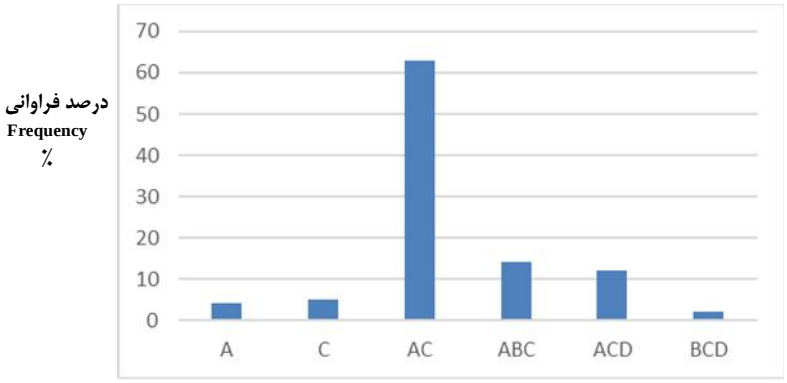
C: ژنوتیپ در برابر نژاد TKTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۳ مقاوم می‌باشد

D: ژنوتیپ در برابر نژاد TTTTF منطقه‌ی بروجرد سال ۱۳۹۴ مقاوم می‌باشد



شکل ۲- درصد فراوانی واکنش‌های مختلف ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به همه‌ی جدایه‌های *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Figure 2. Frequency of different reactions of synthetic wheat genotypes to all *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates



شکل ۳- فراوانی واکنش‌های مختلف مقاومت اختصاص به جدایه در ژنوتیپ‌های سینتتیک گندم نسبت به جدایه‌های *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Figure 3. Frequency of isolate specific resistance reactions in synthetic wheat genotypes to *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* isolates

منابع

1. Afshari, F. 2013. Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) and reaction of wheat genotypes to the disease. Iranian journal of plant protection science, 43: 357-365.
2. Anonymous. 2016. FAOSTAT, Food and Agriculture Organization. Available at http://www.fao.org.
3. Anonymous. 2014. Wheat: Vital grain of civilization and food security, 2013 Annual Report, CGIAR Research Program on Wheat. Mexico, D.F.
4. Bamdadian, A. and M. Torabi. 1978. Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. Iranian Journal of Plant Pathology, 14: 14-19 (In Persian).
5. Chen, X.M. 2005. Epidemiology and control of strip rust *(Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) on wheat. Plant pathology, 27: 314-337.
6. German, S.E., A. Barcellos, M. Chaves, M. Kohli, P. Campos and D. Viedma. 2007. The situation of common wheat rusts in the Southern Cone of America and perspectives for control. Australian Journal of Agricultural Research, 58: 620-630.
7. Khodarahmi, M., S.A. Mohammadi, M.R. Bihamta, E. Majidi Heravan and M.R. Jalal Kamali. 2014. Inheritance and combining ability of yellow rust resistance in some bread wheat commercial cultivars and advanced lines. Seed and Plant Improvement Journal, 30: 531-544 (In Persian)
8. Kolmer, J.A. 2001. Early research on the genetics of *Puccinia graminis* stem rust resistance in wheat in Canada and the United States. In: Stem Rust of Wheat: From Ancient Enemy to Modern Foe. Peterson, P.D. (ed.) American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, 51-82 pp.

9. Ma, H., R.P. Singh and A. Mujeeb-Kazi. 1995. Resistance to stripe rust in *Triticum turgidum, T. tauschii* and their synthetic hexaploids. Euphytica, 82: 117-124.
10. Mehrabi, R., S. Kamali, E. Majidi and M. Khodarahmi. 2014. Evaluation of CIMMYT synthetic hexaploid wheats for resistance to *septoria tritici blotch*. Crop Breeding Journal, 4: 23-33.
11. Mohammadi, M., D. Torkamaneh and M. Patpour. 2013. Seedling stage resistance of Iranian bread wheat germplasm to race Ug99 of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease, 97: 387-392.
12. Mojerlou, S.H., N. Safaie, A. Abbasi-Moghaddam and M. Shams-Bakhsh. 2013. Evaluation of some Iranian wheat landraces resistance against stem rust disease at seedling stage in the greenhouse. Plant Protection Journal, 35: 69-82 (In Persian).
13. Müller, C. and R.D. Robertson. 2014. Projecting future crop productivity for global economic modeling. Agricultural Economics, 45: 37-50.
14. Nafula Tenge, B., P.P. Okwiri Ojwang, D. Otaye and P. Njau. 2016. Assessment of advanced Kenyan selected wheat lines for resistance to the prevailing stem rust races (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) in Kenya. Journal of Plant Breeding and Crop Science, 8: 94-108.
15. Olivera, P., M. Newcomb, L.J. Szabo, M. Rouse, J. Johnson, S. Gale, D.J. Luster, D. Hodson, G.A. Cox, L. Burgin, M. Hort, C.A. Gilligan, M. Patpour, A.F. Justesen, M.S. Hovmoller, G. Woldeab, E. Hailu, B. Hundie, K. Tadesse, M. Pumphrey, R.P. Singh and Y. Jin. 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. Plant Disease, 150: 917-928.
16. Omrani, A., M. Khodarahmi and F. Afshari. 2014. Reaction of some wheat cultivars and breeding lines to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* hot races in Iran. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 47: 1136-1145.
17. Park, R.L. 2007. Stem rust of wheat in Australia. Australian Journal of Agricultural Research, 58: 558-566.
18. Patpour, M., K. Nazari, F. Ogbonnaya, S.M. Alavi and A. Mousavi. 2014. Detection of resistance sources to Iranian prevalent stem rust races in commercial wheat cultivars. Seed and Plant Improvement Journal, 30: 133-154 (In Persian).
19. Pretorius, Z.A., K.W. Pakendorf, G.F. Marais, R. Prins and J.S. Komen. 2007. Challenges for sustainable control of cereal rust diseases in South Africa. Australian Journal of Agricultural Research, 58: 593-601.
20. Roelfs, A.P. 1978. Estimated losses caused by rust in small grain cereals in the United States Miscellaneous Publication No.1363, United States Department of Agriculture, Washington DC., USA, 19: 18-76.
21. Roelfs, A.P., R.P. Singh and E.E. Saari. 1992. Rust Disease of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. CIMMIT, Mexico, 81 pp.
22. Rouse, M.N., J. Nirmala, Y. Jin, S. Chao, T.G. Fetch, Z.A. Pretorius and C.W. Hiebert. 2014. Characterization of *Sr9h*, a wheat stem rust resistance allele effective to Ug99. Theoretical and Applied Genetics, 127: 1681-1688.
23. Sharif, G.H., A. Bamdadian and B. Daneshpajoh. 1970. Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965-1970). Journal of Applied Entomology and Phytopathology, 6: 73-100 (In Persian).
24. Singh, R.P., D.P. Hodson, Y. Jin, E.S. Lagudah, M.A. Ayliffe, S. Bhavani, M.N. Rouse, Z.A. Pretorius, L.J. Szabo, J. Huerta-Espino, B.R. Basnet, C. Lan and M.S. Hovmøller. 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.
25. Singh, R.P., D.P. Hodson, J. Huerta-Espino, Y. Jin, S. Bhavani, P. Njau, S. Herrera-Foessel, P.K. Singh, S. Singh and V. Govindan. 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.
26. Stakman, E.C., D.M. Stewart and W.Q. Loegering. 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. U.S. Government Printing Office, Washington, DC., USA, 617 pp.
27. Szabo, L.J., A. Christina and R. Park. 2014. *Puccinia graminis*. In: Dean, R.A. *et al*. (eds.) Genomics of Plant-Associated Fungi: Monocot Pathogens, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, outside the USA, pp: 177-196.
28. Wanyera, R., M.G. Kinyua, Y. Jin and R.P. Singh. 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: 113-125.
29. Wairimu Gitonga, H., P.P. Okwiri Ojwang, G. Kamau Macharia and P. Njoroge Njau. 2016. Evaluation of advanced bread wheat genotypes for resistance to stem rust and yield stability. African Journal of Plant Science, 10: 111-120.
30. Zadoks, J.C., T.T. Chang and C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14: 415-21.

Virulence Factors of Wheat Stem Rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) Isolates and Identification of Resistance Sources in CIMMYT Wheat Synthetic Genotypes

Ali Omrani[1], Saeid Aharizad[2], Ramin Roohparvar[3], Manoochehr Khodarahmi[3] and Mahmoud Toorchi[4]

1 and 4 - Ph.D. Student of Plant Breeding and Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz
2- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, (Corresponding Author: s.aharizad@yahoo.com)
3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
Received: February 5, 2017 Accepted: November 18, 2017

Abstract

Wheat stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (*Pgt)* is one of the most important diseases of wheat, worldwide. New sources of resistance to stem rust could be found in synthetic hexaploid wheat (SHW) genotypes due to their high genetic diversity. In order to recognize the genetic structure of the population of the stem rust, following race analysis of 12 *Pgt* isolates, resistance of 348 SHW genotypes were evaluated using the infection type on a scale of 0 to 4 ratio to the four selected isolates from Gorgan and Broujerd (in 2014 and 2015) at seedling stage using randomized complete block design with two replications. Based on the reactions of differential wheat genotypes, the *Pgt* races TKTTF and TTTTF were identified among all isolates displaying virulence on the stem rust resistance genes *Sr5*, *Sr6*, *Sr7a*, *Sr7b*, *Sr8a*, *Sr8b*, *Sr9a*, *Sr9b*, *Sr9d*, *Sr9e*, *Sr9g*, *Sr10*, *Sr12*, *Sr14*, *Sr15*, *Sr16*, *Sr17*, *Sr18*, *Sr19*, *Sr20*, *Sr21*, *Sr22*, *Sr23*, *Sr28*, *Sr30*, *Sr34*, *Sr36*, *Sr37*, *Sr38*, *SrTmp* and *SrMcN*. Combined analysis of variance showed statistical significance between SHW genotypes in seedling stage in terms of their reaction to *Pgt* isolates. Furthermore, the significant isolate × genotype interaction suggests isolate-specific resistance in some genotypes which displays resistance to at least one *Pgt* isolate. Isolate-specific resistance was observed in 16% of genotypes, whereas 61 and 23% of the SHWs (such as lines 22842, 22857, 22862, 22863, 22864) were susceptible (infection type of 3-4) and resistant (infection type of 0-2) to all four *Pgt* isolates, respectively. Results of this research as the first report of SHWs resistant to prevalent Iranian stem rust races could be exploited in breeding programs using identified resistant genotypes which carry seedling resistance genes.

Keywords: Infection type, Isolate, Isolate-specific resistance, *Puccinia graminis* f. sp. *Tritici*, Race analysis