مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۳۰، شماره ۱، سال ۱۳۹۳

شناسایی منابع مقاومت به نژادهای غالب زنگ سیاه ایران در ارقام تجاری گندم

Detection of Resistance Sources to Iranian Prevalent Stem Rust Races in Commercial Wheat Cultivars

مهران پات‌پور[۱]، کیومرث نظری[۲]، سیدمهدی علوی[۳] و امیر موسوی[۴]

۱، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی سابق دکتری، استادیار و دانشیار، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران
۲- محقق ارشد مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکاردا)، حلب، سوریه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۵

چکیده

پات‌پور، م.، نظری، ک.، علوی، س. م. و موسوی، ا. ۱۳۹۳. شناسایی منابع مقاومت به نژادهای غالب زنگ سیاه ایران در ارقام تجاری گندم. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۰:** ۱۵۴ - ۱۳۳.

در این بررسی واکنش ۶۲ رقم تجاری گندم نان ایرانی به بیماری زنگ سیاه گندم (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش در مرحله گیاهچه‌ای با نژادهای غالب در کشور TTSTC، TTTTF، TRTFC، (TTKSK(Ug99، TTTTC و TKTTC و در مرحله گیاه کامل در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی کلاردشت در شرایط آلودگی طبیعی و در گلخانه واحد بیماری‌های غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج با آلودگی مصنوعی به نژاد TTKSK (Ug99) اجرا شد. نتایج نشان داد که از ۶۲ رقم، ۳۹ رقم (۶۳٪) فاقد مقاومت موثر در برابر نژادها، ۱۳ رقم (۲۱٪) در برابر یک یا چند نژاد مقاوم و در برابر سایرین حساس بودند و ۱۰ رقم (۱۶٪) نسبت به نژاد TTKSK(Ug99) حساس و در برابر پنج نژاد دیگر مقاوم بودند، که این گروه آخر شامل ارقام رسول، فلات، گلستان، اترک، شیرودی، دز، زاگرس، بهار، گنبد و MV17 حامل ژن مقاومت *Sr31* شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: زنگ سیاه (ساقه) گندم، *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، ژن‌های مقاومت، مقاومت گیاهچه‌ای، مقاومت گیاه کامل، نژاد Ug99.

نویسنده مسئول: patpour@spii.ir تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۱۱۰۵

مقدمه

زنگ سیاه یا زنگ ساقه، با عامل قارچی *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* از بیماری‌های مهم و خسارت‌زای گندم (*Triticum aestivum* L.) به شمار می‌رود که به کرات سبب بروز اپیدمی و کاهش شدید تولید جهانی گندم شده است (Leonard, 2001؛ Roelfs, 1978؛ Stakman and Harrar, 1957). در کانادا، ارزش سالیانه کاربرد ارقام مقاوم در کنترل زنگ سیاه را ۲۱۹ میلیون دلار کانادا برآورد کرده‌اند (Green and Campbell, 1979) که نشان‌دهنده خسارت بالای این بیماری در آن کشور است.

در شبه قاره هند از اوایل ۱۹۸۰ موارد متعددی از همه‌گیری زنگ سیاه مشاهده شده است (Joshi, 1976). در کشورهای اروپایی خسارت اصلی زنگ‌ها بیشتر مربوط به زنگ قهوه‌ای و زنگ زرد است. خسارت زنگ سیاه با توجه به ریشه‌کنی میزبان واسط (زرشک) در اوایل قرن بیستم در فرانسه و انگلستان و بعدها در امریکا و همچنین نامساعد بودن شرایط ظهور و توسعه، به شدت کاسته شد. ارتفاعات شرق آفریقا برای توسعه نژادهای جدید زنگ‌های غلات دارای شرایط بسیار مناسب گزارش شده‌اند (Saari and Prescott, 1985). زنگ ساقه به عنوان یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در آفریقا گزارش شده است و مطالعات نشان داده در آفریقای جنوبی تا ۳۵٪ در مزارع گندم باعث کاهش محصول می‌شود. در صورت بروز آلودگی در مراحل رشدی مناسب و شرایط مساعد این بیماری می‌تواند باعث نابودی تمام محصول شود (Singh *et al.*, 2008).

اولین گزارش موجود در ارتباط با زنگ سیاه در ایران مربوط به سال ۱۳۱۸ می‌باشد (Esfandiari, 1947). چندین همه‌گیری زنگ سیاه در مناطق عمده کشت گندم به خصوص در نواحی جنوبی و نواحی گرم و مرطوب شمال کشور به وقوع پیوسته است (Bamdadian and Torabi, 1978؛ Sharif *et al.*, 1970).

در همه‌گیری سال ۱۳۵۵ در مناطق جنوب و جنوب شرقی که به دنبال مساعد شدن شرایط اقلیمی برای ظهور و توسعه زنگ سیاه پدید آمد، میزان خسارت به محصول تا ۹۰ ٪ گزارش شد (Bamdadian and Torabi, 1978). پس از این سال خسارت جدی از بیماری مشاهده نشد و زنگ سیاه بیشتر به صورت پراکنده و نقطه‌ای ظاهر شده است.

در سال ۱۹۹۸ یک نژاد مخرب از زنگ سیاه از کشور اوگاندا گزارش شد که برای ژن مقاومت *Sr*31 که بیش از ۴۰ سال مقاومت گندم به این بیماری را حفظ کرده بود بیماری‌زایی داشت (Pretorius *et al.*, 2000). این نژاد را Ug99 نامیدند. با گسترش این نژاد به سایر مناطق در سال ۲۰۰۱ از کنیا (Wanyera *et al.*, 2006)، سال ۲۰۰۳ از

اتیوپی (Admassu *et al*., 2009)، در سال ۲۰۰۶ از کشورهای یمن و سودان (Singh *et al*., 2008)، و در سال ۲۰۰۷ (۱۳۸۶) از ایران گزارش شد (Nazari *et al*., 2009) . اولین بار خسارت جدی زنگ سیاه در اثر نژاد Ug99 در کشور کنیا گزارش شد (Pretorius, 2000). بر اساس مطالعات انجام شده در کنیا، در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ در ۵٪ از مناطق ۱۸ کشور آفریقایی و آسیایی ارقام مقاوم یا نیمه مقاوم به نژاد Ug99 کشت شده بود، ارقام نیمه حساس و حساس ۵۴٪ این مناطق را پوشش می‌داد و واکنش سایر ارقام در ۴۱٪ این مناطق نامشخص بود (Singh *et al*., 2008).

ساختار ژنتیکی نژاد Ug99 که بر اساس سیستم نامگذاری تعیین نژاد آمریکای شمالی به عنوان TTKSK شناسایی شد (Wanyera *et al*., 2006؛ Jin *et al*., 2008) به سرعت تغییر کرد و سویه‌های مختلفی از آن پدیدار شد که برای اکثر ژن‌های مقاومت مورد استفاده در ارقام زراعی گندم بیماری‌زا بودند و بیش از ۴۶ ژن مقاومت زنگ سیاه تحت تاثیر این سویه‌ها بی‌اثر شدند (McIntosh *et al*., 2008).

ژن‌های مقاومتی که در ارزیابی‌های گیاه کامل در ایستگاه تحقیقاتی نجرو (Njoro) در کنیا دارای واکنش مقاومت به نژاد TTKSK بودند، شامل ژن‌های *Sr13*، *Sr22*، *Sr24*، *Sr25*، *Sr26*، *Sr27*، *Sr28*، *Sr32*، *Sr33*، *Sr35*، *Sr36*، *Sr37*، *Sr39*، *Sr40*، *Sr44* و *Tmp* بودند (Jin *et al*., 2007, 2009).

استفاده از مقاومت ژنتیکی یک روش موثر و کاربردی در جهت کاهش خسارت زنگ سیاه است و تاکنون بیش از ۵۰ ژن مقاومت به زنگ سیاه در گندم شناسایی شده است که به استثنای ژن مقاومت *Sr2* و *Sr*53 مابقی ژن‌ها مقاومت اختصاصی به نژاد بر اساس تئوری ژن برای ژن را دارند (McIntosh *et al*., 2008).

موثرترین و اقتصادی ترین روش مبارزه با این بیماری، به کارگیری ارقام مقاوم است و نیل به این مهم تنها با داشتن دانش کافی در زمینه ژنتیک جمعیت عامل بیماری و شناسایی ژن‌های مقاومت موثر موجود در ارقام و لاین‌های گندم مورد کشت در کشور امکان پذیر می‌شود. میزان بالای تنوع ژنتیکی در جمعیت قارچ عامل زنگ سیاه از نظر بیماری‌زایی و سازگاری زیاد آن با شرایط مختلف محیطی و اقلیمی مبارزه با این بیماری را مشکل ساخته است و همواره تهدیدی برای کاهش عملکرد محصول جهانی گندم شمرده می‌شود (Roelfs *et al*., 1992). زنگ‌های غلات را به عنوان بیماری‌های اجتماعی نام برده‌اند چراکه مزرعه یک زارع همواره تحت تاثیر جریانات هوایی ناقل اسپور زنگ از مزارع زارعین دیگر قرار دارد (McIntosh, 1988)، بنابراین مبارزه با زنگ‌ها باید در وسعت بیشتر و اجتماعی و ترجیحاً با به‌کارگیری ارقام مقاوم انجام شود. اگرچه چندین ژن مقاومت به Ug99 و سویه‌های آن

شناسایی شده‌اند، اما برای استراتژی بلند مدت باید روی مقاومت گیاه کامل بیشتر متمرکز شد.

با توجه به عدم اطلاعات کافی در رابطه با مقاومت ارقام تجاری گندم کشور نسبت به نژادهای غالب زنگ سیاه و به ویژه نژاد Ug99 در ایران، این تحقیق پایه‌ریزی و ۶۲ رقم تجاری گندم نان در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل نسبت به نژادهای غالب بیماری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

تعداد ۶۲ رقم تجاری گندم نان ایرانی در دو تیپ رشدی بهاره/ بینابین و زمستانه جهت ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای و گیاه کامل به زنگ سیاه از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر دریافت شد. در تمامی آزمایش‌ها رقم موروکو به عنوان شاهد حساس مورد استفاده قرار گرفت.

جدایه‌های بیماری‌زا و ارزیابی مقاومت در مرحله گیاهچه‌ای

شش نژاد TTSTC، TTTTF، TRTFC، TTKSK(Ug99)، TKTTC و TTTTC که در مطالعات قبلی نگارندگان در واحد بیماری‌های غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ شناسایی و به عنوان نژادهای غالب در کشور معرفی شده بودند (پات‌پور و همکاران، داده‌های چاپ نشده)، برای مطالعات ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای در گلخانه استفاده شدند.

ارقام گندم مورد آزمایش و رقم حساس موروکو در گلدان‌های حاوی پیت‌ماس در دمای ۲۰°C کاشته شدند. بعد از ۱۰-۸ روز، زمانی‌که برگ اول گیاهچه‌ها به خوبی توسعه یافت اسپور نژادهای مذکور به‌طور جداگانه روی تمامی ارقام مایه‌زنی شد. برای تکثیر اسپور، اوردینیوسپورهای نژادها که در دمای ۸۰°C- نگهداری شده بودند، در دمای ۴۲°C به مدت پنج دقیقه شوک حرارتی داده شدند و سپس جهت زنده کردن و تکثیر اسپور، سوسپانسیون اسپور در روغن صنعتی سبک سالترول ۱۷۰ (Soltrol 170) روی گیاهچه‌های رقم حساس موروکو در مرحله برگ اول با اسپورپاش مایه‌زنی شد. گیاهان مایه‌زنی شده به اطاقک مرطوب با شرایط دمایی ۲°C ± ۱۸ و ۱۶ ساعت تاریکی و رطوبت نزدیک اشباع منتقل و پس از ۲۴ ساعت درگلخانه‌ای با شرایط دمایی ۲°C ± ۱۸و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار داده شدند. پس از دو هفته اسپورهای تازه از روی رقم حساس جمع‌آوری شده و نمونه‌های آزمایشی در مرحله برگ اول به همان روش مایه‌زنی شدند. تیپ آلودگی، ۱۴ روز پس از مایه‌زنی با روش استاکمن و همکاران (Stakman *et al.*, 1962) و مکینتاش و همکاران (McIntosh *et al.*, 1995) بر اساس مقیاس ۴-۰ یادداشت‌برداری شد (۲-۰ به عنوان

واکنش مقاومت و ۳ و ۴ به عنوان واکنش حساسیت در نظر گرفته شد). در هر آزمایش ۴ الی ۶ گیاهچه ارزیابی و جهت تایید و کنترل داده‌ها آزمایش دو بار تکرار شد.

ارزیابی مقاومت در مرحله گیاه کامل

جدایه بیماری‌زا برای ژن *Sr*31 (TTKSK) در گلخانه واحد بیماری‌های غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج مورد استفاده قرار گرفت. در گلخانه ارقام در گلدان‌های حاوی پیت‌ماس به تعداد چهار بوته از هر رقم در هر گلدان به‌طور مجزا کاشته شدند و در مرحله تورم انتهای ساقه (Booting) سوسپانسیون اسپور عامل بیماری به کمک سرنگ در منطقه زیر گره میانی داخل غلاف برگ، به میزان 10^5 اسپور در میلی‌لیتر تزریق شد.

در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، ارقام آزمایشی در دو خط یک متری با فاصله کشت ۳۰ سانتی‌متری در مزرعه آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی کلاردشت در شرایط طبیعی کاشته شدند. مابین خطوط کشت و در حاشیه از رقم حساس موروکو به عنوان شیوع‌دهنده آلودگی (Spreeder) استفاده شد. برای تکمیل اطلاعات و مقایسه داده‌ها، نتایج آزمایش های ارزیابی واکنش همین ارقام در مرحله گیاه کامل که در دو مکان، تل‌هادیا (ایکاردا، سوریه) و نجرو (کنیا) در سال ۲۰۱۰ انجام شده بود نیز مورد مقایسه قرار گرفتند (پات‌پور و همکاران، در مرحله چاپ). در تل هادیا از جدایه غیر بیماری‌زا برای ژن *Sr*31 (TKTTC) در گلخانه پلاستیکی و در نجرو از جدایه بیماری‌زا برای ژن‌های *Sr*31 و *Sr*24 (TTKST) برای انجام آلودگی مصنوعی استفاده شده بود. آلودگی مصنوعی در مزرعه به صورت پودرپاشی با مخلوط اوردینیوسپورهای قارچ و پودر تالک انجام شد.در ایکاردا هر رقم در خطوط ۱۰ سانتی‌متری با ۱۰ سانتی‌متر فاصله از یک دیگر کاشته شدند. نحوه کاشت در نجرو همانند کلاردشت بود.

واکنش گیاهان به آلودگی با روش رولفز و همکاران (۱۹۹۲) با ثبت تیپ‌های آلودگی مقاوم (R)، نیمه مقاوم (MR)، نیمه حساس (MS) و حساس (S) انجام شد. بر اساس این روش مفهوم و معنای هر تیپ آلودگی در ذیل شرح داده شده است:

0 : مصون، بدون هیچ‌گونه علائم.

R : مقاوم، ظهور لکه‌های نکروتیک و کلروتیک، بدون ظهور اسپور، یا جوش‌های ریز و پراکنده.

MR : نیمه مقاوم، ظهور جوش‌های کوچک زنگ که به وسیله لکه‌های نکروتیک احاطه شده‌اند.

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

S : حساس، وجود جوش‌های بزرگ و فراوان زنگ بدون لکه‌های کلروتیک، گاهی

همراه با این لکه‌ها.

شدت زنگ سیاه نیز بر اساس روش پترسون و همکاران (Peterson *et al.*, 1948) با مقیاس ۰ تا ۱۰۰٪ ثبت شد. یادداشت‌برداری از تیپ آلودگی و شدت بیماری روی مواد آزمایشی ۲ تا ۳ مرتبه از زمان سنبله‌دهی تا بلوغ فیزیولوژیکی انجام شد.

تجزیه خوشه‌ای و کلاستربندی ارقام از نظر مقاومت در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل به طور مجزا برای هر دو گروه ارقام بهاره/ بینابین و زمستانه به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام و دندروگرام‌های مربوطه به روش Ward و با محاسبه مربع فاصله اقلیدسی به عنوان معیار تشابه رسم شدند. تبدیل داده‌های کیفی به کمی برای تجزیه آماری و کلاستربندی به شرح ذیل انجام شد:

در مرحله گیاهچه‌ای واکنش‌های ؛ و 0 به عنوان ۱ و مابقی گزینه‌ها (۴-۱) بدون تغییر استفاده شدند.

در مرحله گیاه کامل داده‌های تیپ آلودگی و شدت بیماری با اعمال ضرایب تصحیح، جهت استفاده در نرم‌افزار SPSS مورد بهره‌برداری قرار گرفتند. برای تیپ آلودگی R، ضریب ۰/۲، برای MR ضریب ۰/۴، برای MRMS ضریب ۰/۶، برای MS ضریب ۰/۸ و برای S ضریب ۱ در نظر گرفته شد و با حاصل ضرب این ضریب در شدت بیماری برای هر واکنش عددی ثابت حاصل شد که از آن در محاسبات تجزیه خوشه‌ای استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصات شش نژاد استفاده شده برای ارزیابی مرحله گیاهچه‌ای و ژن‌های غیر موثر برای هر کدام در جدول ۱ نشان داده شده است. این نژادها، نژادهای غالب زنگ سیاه در کشور در سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ بودند که تعیین نژاد آن‌ها با کمک مایه‌زنی روی ۲۰ لاین و رقم افتراقی آمریکای شمالی (Jin *et al.*, 2008) انجام شده بود. جدایه ۴-۸۸ که برای ژن مقاومت *Sr*31 بیماری زایی داشت، به عنوان نژاد TTKSK (Ug99) نام گذاری شده است (پات پور و همکاران، اطلاعات چاپ نشده).

مقاومت ارقام بهاره/ بینابین در مرحله گیاهچه‌ای

تعداد ۴۷ رقم با توجه به تیپ رشدی در مزرعه در این گروه جای گرفتند. شجره این ارقام و نتایج واکنش ارقام بهاره/ بینابین در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل در جدول ۲ آورده شده است.

هیچ‌یک از ارقام بهاره/ بینابین نسبت به تمامی نژادهای آزمایش شده دارای مقاومت کامل نبود. نسبت به نژاد Ug99 در مرحله گیاهچه‌ای تنها دو رقم مارون و مروارید واکنش مقاومت نشان دادند. رقم مارون به سایر نژادهای مورد آزمایش حساس بود و رقم مروارید به دو نژاد TTTTC و TKTTC حساس و در برابر بقیه نژادها مقاومت نشان داد. با کمک نژادهای

جدول ۱- مشخصات شش جدایه (نژاد) قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* استفاده شده برای ارزیابی مقاومت ارقام تجاری گندم در مرحله گیاهچه‌ای

Table 1. Characteristics of six isolates (races) of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* used to evaluate resistance of wheat commercial cultivars at seedling stage

نژاد Race	کد جدایه Code	محل Location	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع Height	ژن‌های بی اثر Ineffective genes
TTSTC	89-70	Gorgan	36.450	54.250	6	*Sr*5, 21, 9*e*, 7*b*, 11, 6, 8*a*, 9*g*, 36, 9*b*, 30, 9*a*, 9*d*, 10, *Tmp*, *McN*
TTTTF	89-139-2	Broujerd	33.734	48.868	1513	*Sr*5, 21, 9*e*, 7*b*, 11, 6, 8*a*, 9*g*, 36, 9*b*, 30, 17, 9*a*, 9*d*, 10, *Tmp*,38, *McN*
TRTFC	88-44-1	Bojnord	NA*	NA	NA	*Sr*5, 21, 9*e*, 7*b*, 11, 6, 9*g*, 36, 9*b*, 30, 17, 10, *Tmp*, *McN*
TTKSK (UG99)	88-4	Dasht-e- Azadegan	31.325	48.577	6	*Sr*5, 21, 9*e*, 7*b*, 11, 6, 8*a*, 9*g*, 9*b*, 30, 17, 9*a*, 9*d*, 10, 31, 38, *McN*
TKTTC	89-67	Sararood	34.332	47.292	1369	*Sr*5, 21, 9*e*, 7*b*, 6, 8*a*, 9*g*, 36, 9*b*, 30, 17, 9*a*, 9*d*, 10, *Tmp*, *McN*
TTTTC	89-50	Gharakhil	36.489	52.771	19	*Sr*5, 21, 9*e*, 7*b*, 11, 6, 8*a*, 9*g*, 36, 9*b*, 30, 17, 9*a*, 9*d*, 10, *Tmp*, *McN*

NA: Not available

NA: عدم دسترسی به اطلاعات

جدول ۲- شجره و سال معرفی ارقام تجاری گندم نان ایرانی تیپ بهاره/ بینابین و واکنش آن‌ها در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل نسبت به قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Table 2. Pedigree and release date of spring/facultative Iranian commercial bread wheat cultivars and their response to *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* at seedling and adult plant stages

ردیف	ارقام	شجره	سال معرفی	مرحله گیاهچه‌ای Seedling stage						مرحله گیاه کامل Adult plant stage			
No.	Cultivars	Pedigree	Rleased year	TTSTC	TTTTF	TRTFC	TTKSK*	TTTTC	TKTTC	Tel-Hadia*	Njoro*	Kelardasht	Karaj
1	Azadı	Mexp//4820/1-32-15409	1979	4	4	4	4	4	4	40S	90S	70S	60S
2	Ghods	Rsh/5/Wt/4/Nor10/K54*2//Fn/3/Ptr/6/Omid//Kal/Bb	1989	4	4	4	4	4	4	30S	90S	70S	40S
3	Karaj 1	Rsh/Vfn	1973	4	4	4	4	3+4	4	70S	70S	70S	60S
4	Karaj 2	Omid//Fa/Th-Mt	1973	4	2+3	4	4	4	4	70S	70S	60S	50S
5	Navıd	Kırkpınar79	1990	4	4	4	4	4	1	10MR	10S	40S	20MSS
6	Rassool	Veery'S'≠7 = Kvz/Buho'S'7//Kal/Bb	1992	1	2-	0	4	1p	1	20MR	40S	40SMS	50S
7	Tabası	Local land race	1951	4	2+	4	4	4	4	80S	30MR	70S	60S
8	Ad12	Fr3*/MM/Mt//Rsh	1976	2	4	4	4	4	4	80S	30R	30S	20MMS
9	Sholeh	Local	1957	4	4	4	4	4	4	30S	60S	60S	60S
10	Arvand	Rsh//Mt-Ky/My48	1973	4	4	4	4	4	4	70S	70S	70S	50S
11	Maroon	Avd/5/Pchu/4/28mt54A/3/N10//Kt54B/Nar59/3/7c	1991	33+	3	3+	1+2	3+4	4	30S	40MS	20MR	20S
12	Chenab	NA	-	4	4	33+	4	4	1	5R	90S	30S	50S
13	Falat	Kvz/Buho'S'//Kal/Bb	1990	1	2	0	4	1=	1	30MR	50MS	5R	40S
14	Inıa	Lr64/Sn64	1968	4	4	33+	4	3+	4	80S	60S	30S	20S
15	Golestan	Alondra'S'	1986	2-	2+	2	4	1	1	5R	70S	60S	40S
16	Moghan 1	LRr/N10B//3*AnE	1973	4	4	4	4	4	4	50S	50S	60S	40S
17	Moghan 2	Chotı Lerma	1974	4	4	3	4	4	1	5R	30MR	5R	50S
18	Alborz	Frontana/Mıda//Kenya117-A/3/2*Collafen/4/……	1978	4	4	4	4	4	4	60S	40MS	20MS	60S
19	Darab	Rsh/Irnı49//C271/3/PK868	1980	4	4	0	4	4	4	60S	60S	-	50
20	Sorkhtokhm	Local landrace	-	4	4	4	4	4	4	90S	80S	70S	60S
21	Hırmand	Bty/4/Jar//Cfn/Sr70/3/Jup'S'	1991	4	4	3	4	4	4	80S	30R	70S	10MSS
22	Zarrin	PK15841	1995	4	4	4	4	4	4	50S	90S	60S	30S
23	Alvand	1-27-6275/CF1770	1995	4	4	4	4	4	4	70S	50MS	60S	10S
24	Mahdavı	Tı/Pch/Mt48/3/Wt*//Nar59/Tota63/4/Mus	1995	4	4	4	4	4	4	60S	70S	50S	50S
25	Nıknejad	F13471/Crow'S'	1995	4	4	-	4	3+	4	50S	60MS	50S	20MS
26	Darab#2	Maya'S'/Nac	1995	4	3	33+	4	3+	4	70S	70S	5R	40S
27	Atrak	Kauz	1995	2-	2	1	4	1	1	5R	50MS	5R	30S
28	Tajan	Bow'S'/Nkt'S'	1995	4	4	4	4	4	4	80S	70S	30S	30S
29	Shiroodi	Attıla (CM85836-4Y)	1997	11+	2-	0	4	1	1	20MR	90S	5R	40S
30	Chamran	Attıla (CM85836-50Y)	1997	4	4	3	4	3+4	4	70S	70S	5R	60S
31	Kavır	Stm/3/Kal//V534/Jıt716	1997	4	4	4	3+	3+4	4	80S	50MR	50S	40S
32	Marvdasht	HD2172/Bloudan//Azd	1999	4	4	4	4	4	4	70S	60S	60S	30S
33	Pishtaz	Alvand//Aldan/Ias58	2002	4	4	2	4	4	4	80S	80S	70S	50S
34	Shiraz	Gv/D630//Ald'S'/3/Azd	2002	4	4	4	4	4	4	80S	80S	70S	60S
35	Sabalan	908/FnA12// 21-32-438	1981	4	4	4	3	4	4	10S	70S	70S	40S
36	Bam	Vee'S'/Nac//1-66-22	2006	3	2-	4	33+	4	4	80S	5R	70S	40S
37	Dez	Kauz*2/Opata//Kauz	2009	1-	0	-	33+	1+	1	5R	60S	5R	50S
38	Morvarid	Milan/Shanghai7	1996	1+2	2	-	2	3+4	4	50S	5MRMS	30SMS	10MR
39	Zagross	Tan'S'/Vee'S'//Opata 85	2006	1	2	0	4	11+	1	30MR	90S	30S	40S
40	Arta	HD2206/Hork//Bul/6/CMH80A.253/2/M2A/CML//….	2006	33+	3	33+	4	4	1	5R	80S	20MSS	60S
41	Sıstan	Bank'S'/Vee'S'	2006	4	4	4	4	3+	4	80S	10MS	70S	40S
42	Akbarı	1-63-31-/3/12300/Tob//Cno/Sx-0IRN	2006	4	4	4	4	4	4	80S	30MR	40S	10MS
43	Bahar	Blayka	2006	2-	1	2	4	11+	1	5R	80S	70S	40S
44	Gonbad	Atrak/Wangshuıbaı	2007	2	1	0	4	2-	1	5R	40S	10MRMS	20MR
45	Parsı	Dove'S'/Buc'S'//2*Darab	2011	2+3	2+	4	4	4	4	80S	10R	10RMR	30S
46	Sıvand	Kauz'S'/Azd	2009	2+3	2+3	4	4	33+	4	80S	10R	60S	50S
47	Sırvan	PRL/2*Pastor	2011	4	4	4	4	4	4	50S	50MR	5R	20S
48	Morocco	-	-	4	4	4	4	4	4	90S	90S	90S	80S

(Patpour *et al.* under publishing data)

داده‌های در حال چاپ از نگارندگان برای مقایسه بهتر با سایر داده‌ها

R: Resistance; MR: Moderately resistance; MS: Moderately susceptible; S: Susceptible

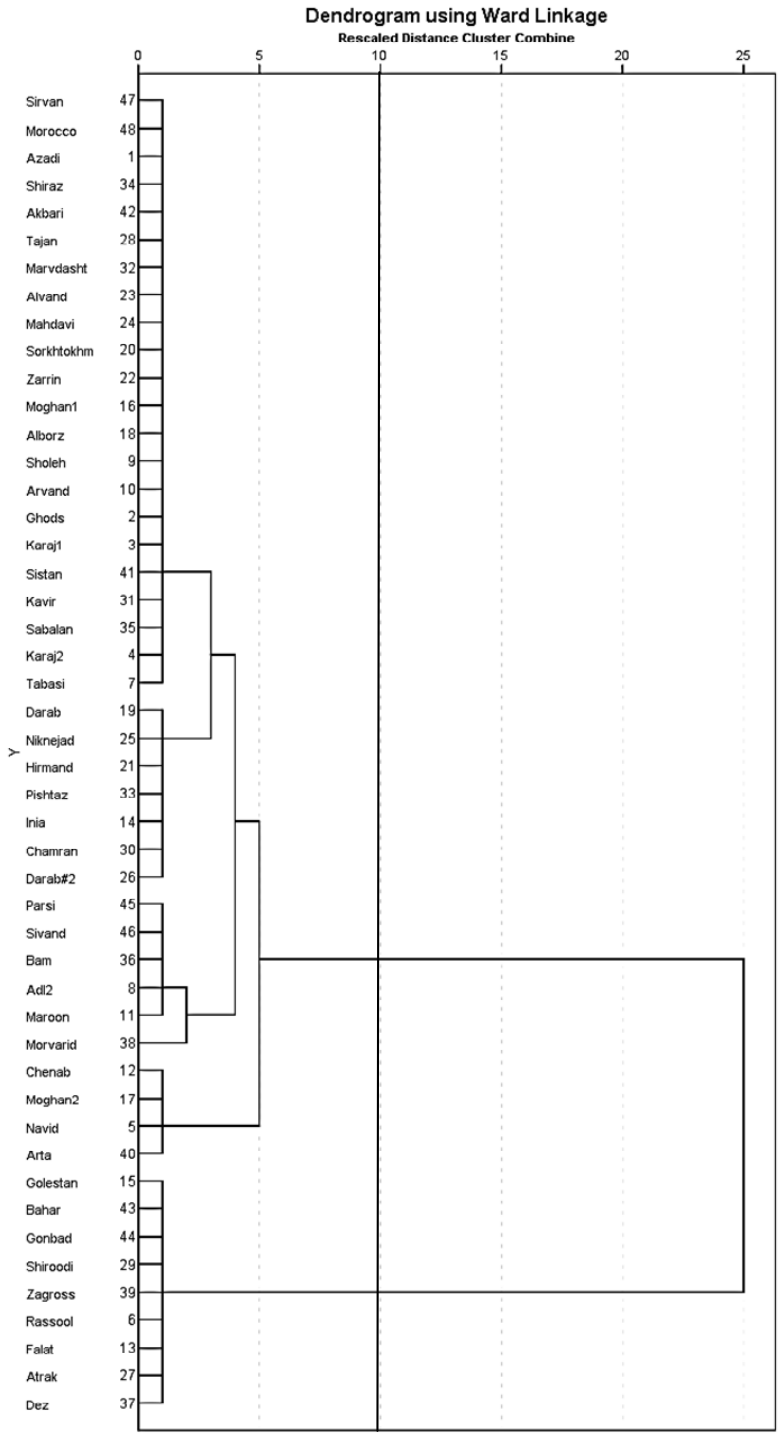
مورد بررسی چگونگی مقاومت رقم مروارید به نژاد TTKSK و سایر نژادها شناسایی نشد و برای این کار نیاز به مطالعات بیشتری هست.

در بین این ارقام، ۹ رقم به تمامی نژادها به استثنای نژاد TTKSK مقاومت داشتند که عبارت بودند از ارقام رسول، فلات، گلستان، اترک، شیرودی، دز، زاگرس، بهار و گنبد، با توجه به شجره این ارقام و داده‌های حاصل از عکس‌العمل آن‌ها، حضور ژن مقاومت *Sr*31 در آن ها قرین به یقین است. ترانسلوکیشن 1BL/1RS که ژن *Sr*31 روی پان قرار دارد، در گندم‌های اصلاح شده با منشاء سیمیت به فراوانی وارد شده و حضور ژن مقاومت *Sr*31 عامل بروز واکنش مقاومت نسبت به نژادهای موجود زنگ سیاه گندم تا قبل از پیدایش نژاد Ug99 بوده است. این ترانسلوکیشن در بسیاری از ارقام ایرانی نیز وارد شده است و واکنش مقاومت ارقام مذکور نسبت به پنج نژاد TTSTC، TTTTF، TRTFC، TKTTC و TTTTC و حساسیت به TTKSK(Ug99) نشان از عملکرد این ژن مقاومت است.

سایر ارقام واکنش‌های متفاوتی نسبت به نژادهای مختلف داشتند. ارقام طبسی، بم و پارسی نسبت به نژاد TTTTF مقاوم بود ولی به نژادهای دیگر حساسیت نشان دادند. رقم نوید تنها به نژاد TKTTC مقاوم بود. ارقام نیک‌نژاد و پیشتاز به نژاد TRTFC و رقم آرتا به دو نژاد TTTTF و TKTTC مقاوم بودند ولی به دیگر نژادها واکنش حساسیت داشتند. این تفاوت‌ها در واکنش مقاومت ارقام نشان دهنده وجود مقاومت اختصاصی در این ارقام است، اما شناسایی دقیق ژن(های) مقاوم با به‌کارگیری این تعداد نژاد امکان‌پذیر نیست و مستلزم کاربرد نژادهای شناخته شده بیشتر است، البته استفاده از نشانگرهای مولکولی راه حل مطمئن‌تر و دقیق‌تری برای این کار است.

گروه‌بندی ارقام بهاره/بینابین بر اساس تجزیه خوشه‌ای مرحله گیاهچه‌ای

تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس Ward، ارقام گندم بهاره/بینابین را به دو گروه تقسیم‌بندی کرد (شکل ۱). گروه اول، شامل ۳۹ رقم به همراه رقم حساس موروکو بودند. این گروه ۸۱٪ ارقام بهاره/ بینابین را در بر گرفت که با توجه به واکنش آن‌ها در مرحله گیاهچه‌ای می‌توان از آن‌ها به عنوان گروه حساس نام برد. ارقام چناب، مغان۲، نوید و آرتا در یک زیر گروه دورتر از ارقام دیگر این گروه قرار گرفتند که با توجه به واکنش گیاهچه‌ای آن‌ها مشاهده می‌شود که ارقام این گروه به تمام نژادهای مورد استفاده حساس و تنها در برابر نژاد TKTTC مقاوم بودند، بنابراین احتمال حضور ژن *Sr*11 در این ارقام وجود دارد. گروه دوم شامل ۹ رقم مقاوم به تمامی نژادها به استثنای نژاد TTKSK بود که در بالا به آن‌ها اشاره شد و در تجزیه خوشه‌ای نیز یک گروه مستقل را با ۱۹٪ جمعیت ارقام



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای مقاومت گیاهچه‌ای ۴۸ رقم گندم نان بهاره/بینابین به زنگ سیاه به روش حداقل واریانس وارد

Fig. 1. Dendrogram obtained by cluster analysis of seedling resistance of 48 spring/facultative bread wheat cultivars to stem rust using Ward's method

بهاره/ بینابین تشکیل دادند.

مقاومت ارقام بهاره/ بینابین در مرحله گیاه کامل

نتایج این مرحله در جدول ۲ آورده شده است. در مرحله گیاه کامل، نسبت به نژاد TTKSK در نجرو (کنیا) و گلخانه (کرج)، ارقام عدل۲ و هیرمند واکنش مقاومت گیاه کامل مناسب R 30 در نجرو (کنیا) و MSS 10-20 در گلخانه (کرج) نشان دادند که می‌تواند نشان از حضور ژن(ها) مقاومت موثر APR (Adult Plant Resistance) در این ارقام باشد. ارقام بم، پارسی و سیوند در مزرعه در نجرو مقاومت مطلوب 5 الی R 10 داشتند و ارقام سیروان، اکبری، کویر، مغان۲ و طبسی نیز واکنش نیمه مقاوم نشان دادند، اما همین ارقام در گلخانه کرج نسبت به نژاد Ug99 واکنش نیمه حساس تا حساس MS 10 الی S 60 نشان دادند که می‌تواند به دلیل فشار بالای بیماری در شرایط گلخانه‌ای باشد.

ارقام نوید، رسول، چناب، فلات، گلستان، مغان۲، اترک، شیرودی، دز، زاگرس، آرتا، بهار و گنبد نسبت به نژادTKTTC در تل-هادیا دارای واکنش نیمه مقاوم تا مقاوم بودند که این داده‌ها با مقایسه با داده‌های مرحله گیاهچه‌ای نسبت به همین نژاد کاملاً مطابقت دارد. این نتایج تایید کننده حضور و اثر ژن مقاومت اختصاصی در طول دوره رویشی گیاه است و چنانچه سایر ارقام نیز حامل ژن مقاومت گیاه کامل بودند به دلیل فشار بیماری در گلخانه پلاستیکی و شرایط بسیار مستعد جهت ظهور و فعالیت قارچ عامل بیماری، نتوانسته‌اند اثر مثبتی در مقاومت داشته باشند. مانند رقم مروارید که به استثنای واکنش حساسیت نسبت به TKTTC در مناطق دیگر دارای واکنش نیمه مقاوم تا نیمه حساس بود. سینگ و همکاران (۲۰۰۸) نیز قبلاً گزارش هائی مبنی بر کافی نبودن مقاومت ژن *Sr2* به تنهایی در ژنوتیپ‌های گندم ارائه داده‌اند.

حساسیت رقم سیستان (شماره ۴۱) به نژاد TKTTC که در نجرو در مرحله گیاه کامل واکنش MS 10 به نژاد TTKST نشان داد، بیانگر دخیل بودن ژن یا ژن‌های مقاومت ناشناخته زنگ سیاه در این رقم بود.

در منطقه کلاردشت ارزیابی‌ها در شرایط طبیعی منطقه برای دو سال انجام شد و متوسط نتایج آلودگی‌های ثبت شده بر اساس واکنش ارقام به بیماری به عنوان واکنش گیاه در نظر گرفته شد. در مجموع در این منطقه ارقام فلات، مغان۲، داراب۲، اترک، شیرودی، چمران واکنش مقاوم و ارقام مارون، پارسی و گنبد واکنش نیمه مقاوم نشان دادند. گروهی از ارقام که با توجه به نتایج سایر مناطق و مرحله گیاهچه‌ای انتظار میرفت واکنش مقاومت نشان دهند، حساس (SMS 40 تا 70 S) ارزیابی شدند که از جمله آن ها

می‌توان ارقام رسول، گلستان، زاگرس و بهار را نام برد. اهمیت این موضوع از آن جهت است که بر اساس نتایج این آزمایش، ارقام فوق دارای ژن *Sr*31 هستند ولی چون وجود نژاد Ug99 در منطقه کلاردشت تاکنون ثابت نشده است، با توجه به این داده‌ها احتمال وجود فاکتور بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Sr*31 هر چند با فراوانی کم در این منطقه وجود دارد.

گروه بندی ارقام بهاره/بینابین بر اساس تجزیه خوشه ای مرحله گیاه کامل

کلاستربندی در این گروه برای مناطق تل-هادیا، نجرو و کرج انجام شد. با توجه به عدم آلودگی مصنوعی و مشخص نبودن نژاد(ها) در کلاردشت، داده‌های این منطقه در تجزیه خوشه‌ای محاسبه نشد. بر اساس تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس Ward، ارقام گندم بهاره/بینابین در مرحله گیاه کامل به سه گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲). گروه اول، شامل ۱۷ رقم (۳۵٪) از ارقام بهاره/ بینابین بود که اکثریت ارقام مقاوم به نژادهای غیر Ug99 را در بر گرفت. گروه دوم، ۹ رقم (۱۹٪) شامل ارقام عدل۲، هیرمند، اکبری، بم، سیستان، سیوند، پارسی، کویر و طبسی بودند که در مجموع تا حدودی واکنش نیمه مقاوم تا نیمه حساس داشتند. گروه سوم، با ۲۲ رقم، ۴۶٪ ارقام را شامل گشت. ارقام این گروه در مجموع با توجه به داده‌های آزمایش، دامنه‌ای از ارقام نیمه حساس تا کاملاً حساس را پوشش داد.

مقاومت ارقام زمستانه در مرحله گیاهچه‌ای

تعداد ۱۵ رقم با توجه به تیپ رشدی در مزرعه در این گروه جای گرفتند. نتایج واکنش ارقام زمستانه در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل در جدول ۳ آورده شده است.

از بین ۱۵ رقم زمستانه همانند ارقام بهاره/ بینابین هیچ‌کدام مقاومت کاملی به تمام نژادهای مورد بررسی نداشتند. تمامی ارقام زمستانه به نژاد Ug99 در مرحله گیاهچه‌ای حساس بودند. در بین این ارقام، تنها رقم MV17 که یک رقم مجارستانی است، به استثنای نژاد TTKSK به سایر نژادها مقاومت داشت. این رقم حامل ژن مقاومت *Sr*31 است (McIntosh *et al.*, *2008*). ارقام به تازگی معرفی شده اروم، زارع و میهن به تمامی نژادها در این مرحله حساس بودند که نشان از عدم حضور ژن مقاومت موثر در آن‌ها نسبت به نژادهای بیماری زنگ سیاه مورد بررسی بود.

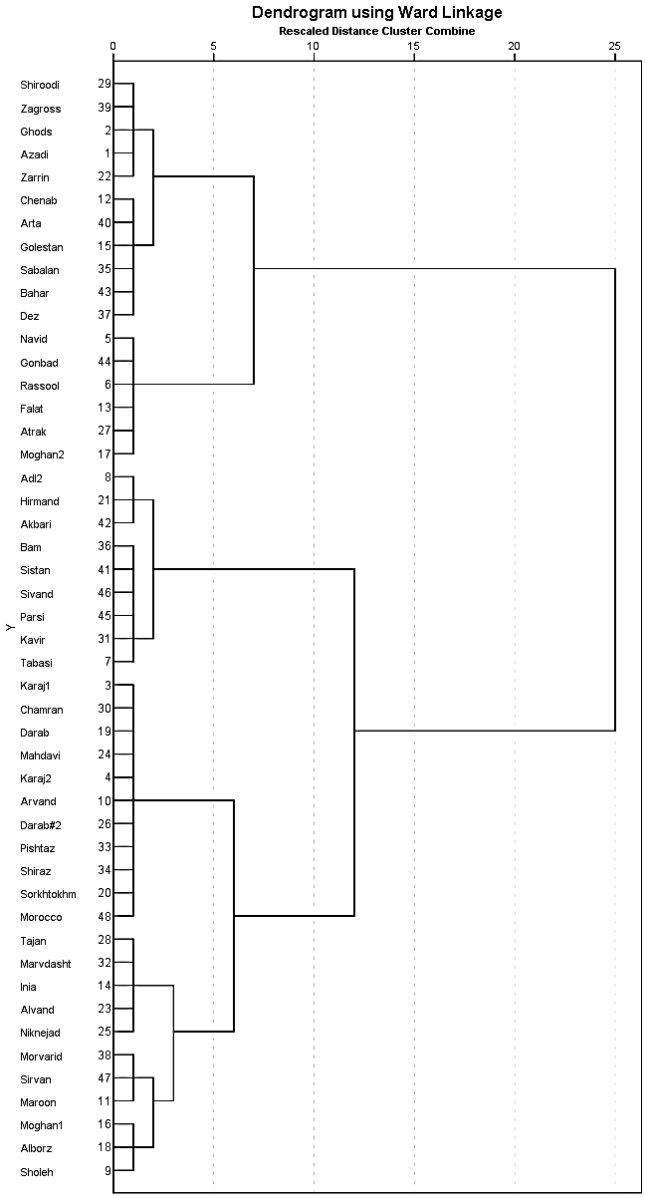
ارقام امید و روشن که از ارقام بومی کشور هستند و رقم سایسون، نسبت به نژاد TTTTF واکنش قابل قبول ۲ را نشان دادند که حضور ژن مقاومت ناشناخته‌ای در آن‌ها را می‌توان مفروض دانست. هر چند که در صورت وجود ژن مقاومتی در آن‌ها با توجه به بی اثر بودن آن(ها) نسبت به

جدول ۳- شجره و سال معرفی ارقام تجارتی گندم نان ایرانی تیپ زمستانه و واکنش آن‌ها در مراحل گیاهچه‌ای و گیاه کامل نسبت به قارچ *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

Table 3. Pedigree and release date of winter Iranian commercial bread wheat cultivars and their response to *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* at seedling and adult plant stages

ردیف	ارقام	شجره	سال معرفی	مرحله گیاهچه‌ای Seedling stage						مرحله گیاه کامل Adult plant stage			
No.	Cultivars	Pedigree	Rleased year	TTSTC	TTTTF	TRTFC	TTKSK*	TTTTC	TKTTC	Tel-hadia*	Njoro*	Kelardasht	Karaj
1	Shahpasand	Local	1942	4	33+	4	4	4	4	80S	10R	50S	30S
2	Omid	Local	1956	4	2	4	4	4	4	80S	10R	70S	50S
3	Roshan	Local	1959	4	2-	4	4	4	4	80S	30MR	60S	50S
4	Bezostaya	-	1970	4	33+	3	4	4	4	50S	-	40S	40S
5	Karaj 3	Drc/Mxp//Son64/Tzpp-Y54/3/Nai60	1976	4	4	4	4	4	4	5R	40S	60S	60S
6	Kaveh	Fta-P1	1980	2+3	4	4	4	4	4	80S	-	60S	60S
7	Alamoot	KVZ/Ti71/3/Maya"s"//Bb/Inia/4/Kj2/5/Anza/3/Pi/Ndr//Hys	1995	4	4	4	4	4	-	-	-	70S	20S
8	Azar#2	Kvz/Ym71//3/Maya"s"//Bb/Inia/4/Sefid	1999	4	4	0	4	2	4	30S	80S	30S	50S
9	MV17	Slaviya/3/Krasnodari 1/ Bezostaya//3Zg.4431	1993	-	2-	-	33+	11+	1	20MR	60S	50S	50S
10	Gaspard	Arminda/FD-71036	1994	4	4	4	4	33+	4	80S	-	5R	70S
11	Gascogne	TJB-990-8/Marengo	-	4	4	4	4	4	4	5R	-	60S	30S
12	Soissons	Iena/3/Jena//Hybride-Naturel/HN-35	-	2+3	2-	4	3	4	4	50S	60S	50S	50S
13	Oroum	Alvand//NS732/Her	2010	4	4	3+4	4	4	4	80S	60S	60S	40S
14	Zare	130L1.11//F35.70/Mo73/4/Ymh/Tob//Mcd/3/Lira	2010	4	4	4	4	4	4	85S	60S	-	20S
15	Mihan	Bkt/90-Zhong 87	2010	4	4	4	4	4	-	-	-	50S	10MSS
16	Morocco	-	-	4	4	4	4	4	4	90S	90S	90S	80S

R: Resistant; MR: Moderately resistant; MS: Moderately susceptiple; S: Susceptible



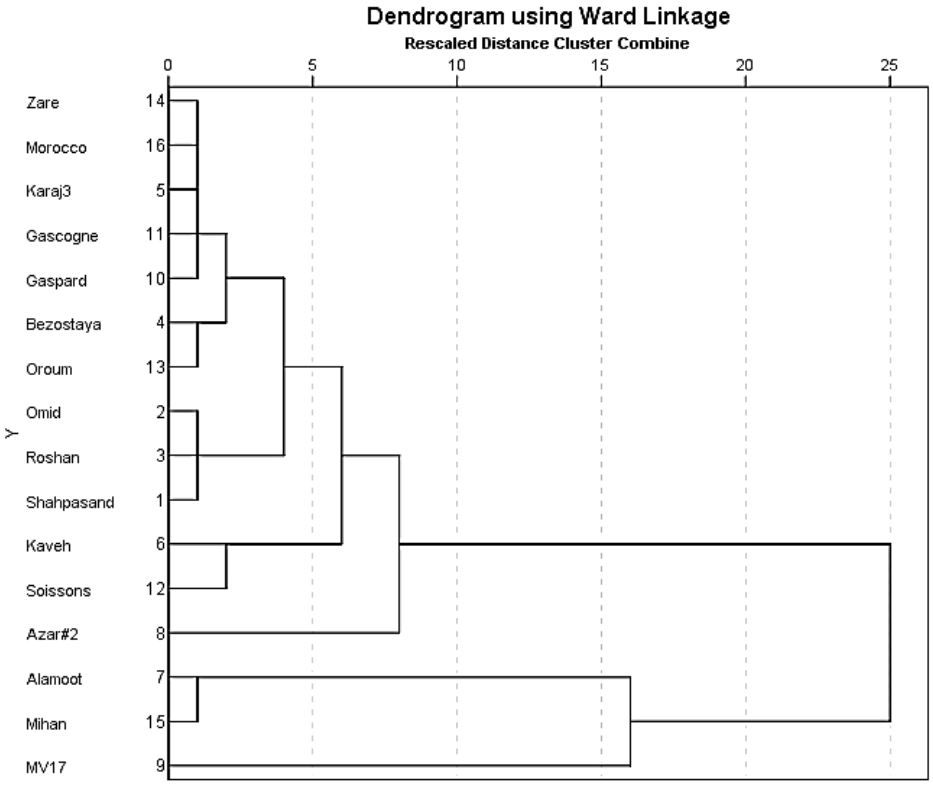
شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای مقاومت مرحله گیاه کامل ۴۸ رقم گندم نان بهاره/ بینابین به زنگ سیاه به روش حداقل واریانس وارد

Fig. 2. Dendrogram obtained by cluster analysis of adult plant resistance of 48 spring/facultative bread wheat cultivars to stem rust using Ward's method

سایر نژادهای مورد بررسی ارزش قابل توجهی نخواهد داشت.

گروه‌بندی ارقام زمستانه بر اساس تجزیه خوشه‌ای مرحله گیاهچه‌ای

تجزیه خوشه‌ی به روش حداقل واریانس Ward، ارقام گندم نان زمستانه را در مرحله گیاهچه‌ای به سه گروه تقسیم‌بندی کرد (شکل ۳). دوازده رقم گندم تجاری نان زمستانه



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای مقاومت گیاهچه‌ای ۱۵ رقم گندم نان زمستانه به زنگ سیاه به روش حداقل واریانس وارد

Fig. 3. Dendrogram obtained by cluster analysis of seedling resistance of 15 winter bread wheat cultivars to stem rust using Ward's method

به همراه رقم حساس موروکو، گروه اول را با ۸۱٪ از کل ارقام زمستانه تشکیل دادند. که می‌توان به عنوان گروه حساس از آن‌ها نام برد. این گروه شامل ارقام بومی امید، روشن و شاهپسند، و ارقام تازه معرفی شده زارع و اروم و ارقام کرج۳، گاسکوژن، گاسپارد، بزوستایا، کاوه و سایسون بودند. گروه دوم با داشتن دو رقم الموت و میهن ۱۲/۵٪ ارقام را شامل شدند. از دلایل اصلی تشکیل این گروه توسط نرم‌افزار مورد استفاده به احتمال زیاد وجود داده‌های از دست رفته این ارقام در برابر نژاد TKTTC در مرحله گیاهچه‌ای بوده است. گروه سوم (۶٪) تنها رقم مجارستانی MV17 را در برداشت که نسبت به نژاد TTKSK حساس و در برابر باقی نژادها واکنش مقاومت داشت.

مقاومت ارقام زمستانه در مرحله گیاه کامل

داده‌های حاصل از ارزیابی‌های گیاه کامل در مزارع تل-هادیا، نجرو، کلاردشت و گلخانه کرج در جدول ۳ نشان داده شده است.

در مرحله گیاه کامل، نسبت به نژاد Ug99 در نجرو (کنیا) ارقام بومی شاهپسند، امید و

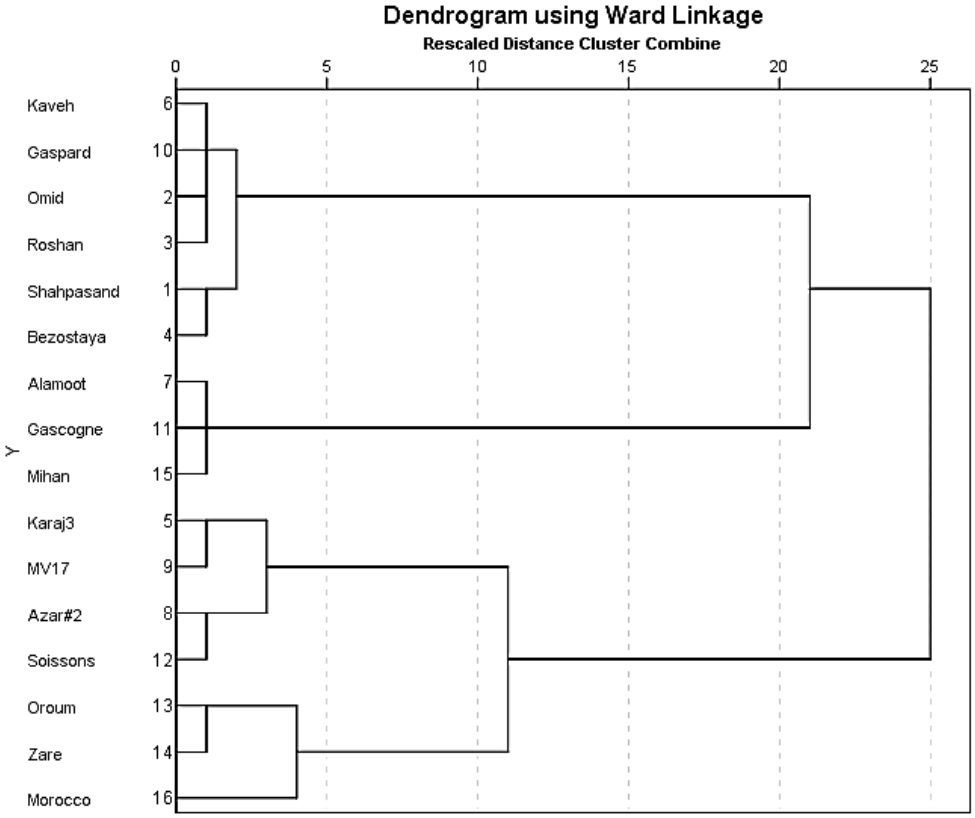
روشن دارای واکنش‌هایR 10 تا MR 30 بودند که با توجه به بومی بودن آن‌ها انجام بررسی‌های بیشتر برای تعیین چگونگی مقاومت این ارقام ضروری است. این ارقام در سایر مناطق حساس ارزیابی شدند. در تل-هادیا، در حضور نژاد TKTTC ارقام کرج۳، MV17 و سایسون به ترتیب واکنش R 5، MR 20 و R 5 را نشان دادند، در حالی که این ارقام در ارزیابی‌های دیگر حساس بودند. در منطقه کلادشت، تنها رقم گاسپارد واکنش مناسب مقاومت R 5 نشان داد. رقم MV17 که حامل ژن مقاومت *Sr*31 است، در این منطقه تا S 50 یادداشت‌برداری شد که حضور بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Sr*31 در این منطقه را تقویت کرد.

در ارزیابی‌های گیاه کامل در گلخانه با نژاد TTKSK در شرایط مناسب قارچ عامل بیماری، تمامی ارقام واکنش کاملاً حساس ارائه دادند.

گروه‌بندی ارقام زمستانه بر اساس تجزیه خوشه‌ای در مرحله گیاه کامل

به دلیل ذکر شده در قبل، کلاستربندی این گروه نیز بدون دخالت داده‌های حاصل از منطقه کلاردشت انجام شد. پانزده رقم زمستانه در مرحله گیاه کامل با تجزیه خوشه‌ای به روش حداقل واریانس Ward، به چهار گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۴). گروه اول، شامل ۶ رقم (۳۷/۵٪) کاوه، گاسپارد، بزوستایا، امید، روشن و شاهپسند بود که سه رقم اول در منطقه نجرو فاقد داده مناسب بودند و سه رقم آخر در نجرو واکنش مقاومت گیاه کامل داشتند و احتمال حضور ژن(های) مقاومت گیاه کامل در آن‌ها می رود ولی جهت تایید آن،نیاز به مطالعات بیشتر هست. گروه دوم، ارقام الموت، گاسکوژن و میهن (۱۹٪) را در خود جای داد. قرابت این سه رقم در یک گروه می‌تواند به دلیل عدم ثبت واکنش مقاومت آن‌ها در مناطق تل‌هادیا و نجرو باشد. گروه سوم (۲۵٪)، شامل ارقام کرج۳، MV17، آذر۲ و سایسون بود که در این گروه دو رقم اول واکنش مقاوم تا نیمه مقاوم نسبت به نژاد TKTTC در تل‌هادیا داشتند. رقم MV17 همان گونه که پیشتر مطرح شد حامل ژن مقاومت *Sr31* است اما در مورد رقم کرج۳ نیاز به بررسی‌های کامل‌تری است. گروه چهارم (۱۹٪)، در بر گیرنده سه رقم اروم، زارع و رقم حساس موروکو بود که حاکی از حساسیت بالای این ارقام تازه معرفی شده نسبت به بیماری زنگ سیاه همانند رقم شاهد موروکو بود (جدول ۳).

با شناسایی نژاد Ug99 در ایران در سال ۱۳۸۶ (Nazari *et al.*, 2009)، هراس از همه‌گیری بیماری زنگ سیاه گندم در ایران و همچنین کشورهای همسایه تشدید شد، چرا که مناطق وسیعی از کشت گندم حامل ژن مقاومت *Sr*31 را در بر می‌گرفت. اطلاعات ژنتیکی ناچیزی در مورد وضعیت مقاومت به زنگ سیاه در ارقام مورد کشت در ایران وجود داشت. اگرچه در چند سال اخیر زنگ سیاه به عنوان



شکل ۴ – دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای مقاومت گیاه کامل ۱۵ رقم گندم نان زمستانه به زنگ سیاه به روش حداقل واریانس وارد

Fig. 4. Dendrogram obtained by cluster analysis of adult plant resistance of 15 winter bread wheat cultivars stem rust using Ward's method

یک بیماری مهم در تولید گندم کشور اثرگذار نبوده است اما بیماری پتانسیل تخریب بسیاری داشته و در صورت مهیا شدن شرایط استقرار و توسعه می‌تواند خسارات جبران ناپذیری وارد کند. نژاد Ug99 در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ در چند منطقه جنوبی کشور (استان خوزستان) مشاهده شد (پات‌پور و همکاران، داده‌های چاپ نشده). بنابراین شناسایی ارقام و لاین‌های مقاوم و توصیه کشت آن‌ها در مناطق مختلف کشور از مسائل حائز اهمیتی است که در برنامه‌های به نژادی گندم باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد. بررسی مقاومت ارقام تجاری گندم ایران نسبت به نژادهای غالب در مرحله گیاهچه‌ای دال بر عدم وجود ژن‌های مقاومت اختصاصی موثر نسبت به نژادهای مورد آزمایش بود. به عبارتی در صورتی‌که ژن مقاومت به زنگ سیاه در ارقام تجاری گندم وجود داشته باشد، بیماری‌زایی برای آن ژن(ها) در جمعیت قارچ عامل بیماری نیز وجود دارد. تنوع ژنتیکی ژن‌های مقاومت زنگ سیاه به ویژه ژن‌های مقاومت موثر در برابر نژاد TTKSK بسیار کم مشاهده شد. اکثر

ارقام ایرانی یا مستقیماً از مواد سیمیت انتخاب شده یا از تلاقی با این مواد با ارقام داخلی حاصل شده‌اند و بنابر همین دلیل انتظار میرفت که تعدادی از ارقام گندم ایرانی حامل ترانسلوکیشن 1BL/1RS (ژن مقاومت *Sr*31) باشند.

در حال حاضر در ارقام ایرانی تنها ژن مقاومت گیاه کامل *Sr*2 می‌تواند تا حدودی از خسارت بیماری بکاهد. این ژن در ۶۰٪ گندم‌های بهاره مرکز تحقیقات بین‌المللی سیمیت حضور دارد (Singh *et al*., 2008). در ایکاردا نیز، بیش از ۱۰۰۰ ژنوتیپ گندم شامل ارقام و لاین‌های پیشرفته منطقه CWANA برای شناسایی ژن‌های موثر مقابل نژاد TTKSK مورد بررسی قرار گرفتند که بیش از ۵۰٪ آن‌ها حامل ژن مقاومت *Sr*2 شناسایی شدند (Ogbonnaya *et al*., 2010).

گزارش شده است که ژن مقاومت *Sr*2 در ترکیب با ژن‌های ناشناخته مقاومت تدریجی (Slow rusting) مقاومت پایدارتری را ایجاد می‌کند و تحت عنوان *Sr*2-complex شناخته می‌شوند (Rajaram *et al*., 1988؛ McIntosh, 1988؛ Rajaram *et al*., 1988). رقم مروارید در آزمایش‌های نجرو و گلخانه کرج در مرحله گیاه کامل واکنش قابل قبولی از مقاومت نشان داد که می‌تواند دلیل بر وجود *Sr*2-complex در این رقم باشد. ارقامی مانند گنبد و پارسی دارای رنگدانه‌های سیاه یا خرمایی رنگ اطراف میانگره‌های ساقه گندم و گلوم‌ها هستند که در اصطلاح به آن بلاک چف کاذب (Psuedo black chaff)گویند (Hare and McIntosh, 1979) و به عنوان یک نشانگر مورفولوژیکی پیوسته به ژن مقاومت *Sr*2 برای انتخاب این ژن استفاده می شود. اما داده‌های این آزمایش نشان داد که این ژن در شرایط فشار بالای بیماری همانند آن چه در گلخانه کرج و تل هادیا حادث شد، توان مقاومت بالایی ندارد. ژن *Sr*2 به عنوان یکی از اعضاء خانواده APR، سطحی از مقاومت نسبت به بیماری زنگ سیاه را در گیاه بالغ نشان می‌دهد. در کنیا، *Sr*2، به تنهایی نتوانست در برابر Ug99 مقاومت کافی نشان دهد. زمانی‌که *Sr*2 در ترکیب با دیگر ژن‌ها، مانند *Sr*23، *Sr*25 یا سایر ژن‌های ناشناخته باشد، سطح مقاومت قابل قبول‌تری در برابر Ug99 نشان می‌دهد (Singh *et al*., 2007).

آزمایش‌های گیاهچه‌ای و گیاه کامل با نژاد TTKSK در ایران ویژگی‌های مقاومت به Ug99 را تا حدودی روشن کرد. تاکنون، ارزیابی‌های گیاهچه‌ای در شرایط مساعد تنها با تجهیزات محدود در زمستان در آمریکا و کانادا و کشورهای آفریقای شرقی که Ug99 از آن‌ها گزارش شده است، اجرا می شد. در این آزمایش مقاومت‌های گیاهچه‌ای و گیاه کامل ناشناخته در تعدادی از ارقام تعیین شد.

نتایج حاصل از این آزمایش‌ها بیانگر آن بود که ژنوتیپ‌های ایرانی از نظر دارا بودن ژن مقاومت موثر به نژاد Ug99 زنگ سیاه، بسیار

ضعیف هستند و با توجه به شکسته شدن مقاومت ژن *Sr*31 و حضور نژاد TTKSK در کشور، اقدام فوری در جهت افزایش مقاومت ژرم‌پلاسم داخلی ضروری بوده و لازم است به نژادگران با اهداف معینی ژن‌های دارای مقاومت موثر را به داخل ژرم‌پلاسم لاین‌های پیشرفته وارد کنند. هرمی کردن ژن‌های مختلف مقاومت در ارقام، سبب پایداری بیشتر مقاومت به Ug99 خواهد شد.

سپاسگزاری

از مسئولان موسسه تحقیقات اصلاح وتهیه نهال و بذر و مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی مناطق خشک (ایکاردا) به خاطر مساعدت در اجرای آزمایش‌ها و همکاران ایستگاه‌های تحقیقاتی محل اجرای به خاطر همکاری در اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

References

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

Bamdadian, A., and 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).

Esfandiari, E. 1947. Cereal Rusts in Iran. Entomologie et Phytopathologie Applique 4: 67-76 (in Persian).

Green, G. J., and Campbell, A. B. 1979. Wheat cultivars resistant to *Puccinia graminis tritici* in western Canada, their development, performance and economic value. Canadian Journal of Plant Pathology 1: 3-11.

Hare, R. A., and McIntosh, R. A. 1979. Genetic and cytogenetic studies of durable adult-plant resistances in 'Hope' and H-44 and related cultivars to wheat rusts. Zeitschrift fur Pflanzenzuchtung 83: 350-367.

Jin, Y., Singh, R. P., Ward, R. W., Wanyera, R., Kinyua, M., Njau, P., Fetch, T., Pretorius, Z. A., and Yahyaoui, A. 2007. Characterization of seedling infection types and adult plant infection responses of monogenic *Sr* gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease 91: 1096-1099.

Jin, Y., Szabo, L. J., Pretorius, Z. A., Singh, R. P., Ward, R., and Fetch, T. 2008. Detection of virulence to resistance gene *Sr*24 within race TTKS of *Puccinia*

graminis f. sp. *tritici*. Plant Disease 92: 923-926.

Jin, Y., Szabo, L. J., Rouse, M. N., Fetch, T., Pretorius, Z. A., Wanyera, R., and Njau, P. 2009. Detection of virulence to resistance gene *Sr*36 within the TTKS race lineage of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Plant Disease 93: 367-370.

Joshi, L. M. 1976. Recent contributions towards epidemiology of wheat rust in India. Indian Phytopathology 29: 1-16.

Leonard, K. J. 2001. Stem rust-Future enemy? pp. 119–146. In: Peterson, P.D. (ed.) Stem Rust of Wheat: From Ancient Enemy to Modern Foe. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.

McIntosh, R. A. 1988. The role of specific genes in breeding for durable stem rust resistance in wheat and triticale. pp. 1-9. In: Simmonds, N. W., and Rajaram, S. (eds.). Breeding Strategies for Resistance to the Rusts of Wheat. CIMMYT, Mexico, D.F. Mexico.

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

McIntosh, R. A., Yamazaki, Y., Dubcovsky, J., Rogers, W. J., Morris, C. F., Somers, D., Appels, R., and Devos, K. M. 2008. Catalogue of gene symbols for wheat. Proceedings of the 11th International Wheat Genetics Symposium, Brisbane, Australia.

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.

Ogbonnaya, F. C., Abdalla, O., Nazari, K., Yahyaoui, A., Spielmeyer, W., and Lagudah, E. S. 2010. Characterization of stem rust resistance in ICARDA/CWANA elite wheat germplasm using linked molecular markers. Proceedings of the 8th International Wheat Conference, St., Petersburg, Russia.

Peterson, R. F., Champbell, A. B., and Hannah, A. E. 1948. A diagramatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. Canadian Journal of Research 26c: 496-500.

Pretorius, Z. A., Pakendorf, K. W., Marais, G. F., Prins, R., and Komen, J. S. 2007. Challenges for sustainable cereal rust control in South Africa. Australian Journal of Agricultural Research 58: 593-601.

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: 203.

Rajaram, S., Singh, R. P., and Torres, E. 1988. Current CIMMYT approaches in breeding wheat for rust resistance. pp. 101-118. In: Simmonds, N. W., and Rajaram, S. (eds.). Breeding Strategies for Resistance to the Rusts of Wheat. CIMMYT, Mexico, D. F. Mexico.

Roelfs, A. P. 1978. Estimated losses caused by rust in small grain cereals in the United States 1918-76. Miscellaneous Publication No.1363, United States Department of Agriculture, Washington DC., USA.

Roelfs, A. P., Singh, R. P., and Saari, E. E. 1992. Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. CIMMYT, Mexico, D. F. Mexico.

Saari, E. E., and Prescott, J. M. 1985. World distribution in relation to economic losses. pp. 259-298. In: Roelfs, A. P., and Bushnell, W. R. (eds.). The Cereal Rusts, Vol. 2, Diseases, Distribution, Epidemiology, and Control. Academic Press, Orlando, FL, USA.

Sharif, G. H., Bamdadian, A., and Daneshpajoh, B. 1970. Physiological races of wheat stem rust in Iran (1965-1970). Journal of Applied Entomology and Phytopathology 6: 73-100 (in Persian).

Singh, R. P., Hodson, D. P., Huerta-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S. A., and Ward, R. W. 2008. Will Stem Rust Destroy the World's Wheat Crop?. pp. 271-309. In: Donald, L. S. (ed.). Advances in Agronomy, Volume 98. Elsevier Academic Press, Amsterdam, the Netherlands.

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.

Stakman, E. C., and Harrar, J. G. 1957. Principles of Plant Pathology. Ronald Press, New York, USA. 581pp.

Stakman, E. C., Stewart, D. M., and Loegering, W. Q. 1962. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici*. U.S. Department of Agriculture,

Agricultural Research Service. E-617. U.S. Government Printing Office, Washington, DC., USA.

Wanyera, R., Kinyua, M. G., Jin, Y., and Singh, R. P. 2006. The spread of stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, with virulence on *Sr*31 in wheat in Eastern Africa. Plant Disease 90: 113.