

ارزیابی مقاومت به بیماری زنگ زرد در برخی لاین‌های پیشرفته گندم

Evaluation of Resistance to Yellow Rust in some Wheat Advanced Lines

علی عمرانی^۱، منوچهر خدارحمی^۲ و فرزاد افشاری^۳

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، گروه اصلاح نباتات، کرج
۲ و ۳- به ترتیب استادیار و دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۲۹

چکیده

عمرانی، ع.، خدارحمی، م. و افشاری، ف. ۱۳۹۲. ارزیابی مقاومت به بیماری زنگ زرد در برخی لاین‌های پیشرفته گندم. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۲۹-۱: ۷۷۶-۷۶۱.

فاکتورهای بیماری‌زایی سه جدایه زنگ زرد گندم *Puccinia striiformis f.sp. tritici* از مناطق اردبیل، زرقان و ساری با استفاده از ارقام افتراقی و متمایزکننده زنگ زرد تعیین شد. به منظور ارزیابی مقاومت به زنگ زرد، ۴۴ لاین پیشرفته گندم همراه با رقم بولانی به عنوان شاهد حساس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت و در مرحله گیاهچه‌ای در گلخانه با پاتوتیپ‌های $6 E 6A^+$ ، $6 E 150A^+$ و $198 E 150A^+$ به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. اجزای مقاومت شامل دوره کمون و تیپ آلودگی ثبت شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین لاین‌های گندم برای هر دو صفت تیپ آلودگی و دوره کمون اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. در تجزیه کلاستر، لاین‌های شماره ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳ و ۴۴ که در یک گروه قرار گرفتند نسبت به همه پاتوتیپ‌ها مقاومت کامل نشان دادند و با احتمال زیاد دارای ژن (های) مقاومت از نوع گیاهچه‌ای هستند. می‌توان از این لاین‌های دارای مقاومت مرحله گیاهچه‌ای در برنامه‌های به‌نژادی در کنار ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل استفاده کرد. در بررسی ژنتیک مقاومت، با مقایسه واکنش این لاین‌ها و لاین‌های ایزوژنیک نسبت به جدایه‌ها، احتمال وجود برخی ژن‌های مقاومت در لاین‌ها تفسیر شد.

واژه‌های کلیدی: گندم، زنگ زرد، لاین‌های ایزوژنیک، پاتوتیپ، مقاومت.

مقدمه

گندم به عنوان مهم‌ترین محصول کشاورزی در تامین نیازهای غذایی دام، طیور و به ویژه انسان‌ها در کشورهای مختلف به شمار می‌آید. توان سازگاری به محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی، گیاه گندم را قادر می‌سازد عملکرد اقتصادی در مناطقی که این امکان برای تولید سایر گیاهان زراعی وجود ندارد داشته باشد. نقش بیماری‌ها در کاهش عملکرد گندم بسیار چشم‌گیر و حائز اهمیت است.

زنگ‌ها مهم‌ترین و گسترده‌ترین بیماری‌ها گندم در دنیا هستند. خسارت به عملکرد دانه در همه‌گیری شدید تا ۷۵ درصد و حتی گاهی خسارت بالاتر از این مقدار گزارش شده است و دانه‌های گندم تشکیل شده روی بوته‌های آلوده فاقد ارزش غذایی می‌شوند (Pathan et al., 2008).

هر چند سال یک بار بروز همه‌گیری‌های شدید و ایجاد خسارت‌های فراوان به عملکرد گندم توسط زنگ‌ها، از طریق ایجاد نژادهای جدید با توان بیماری‌زایی بالاتر و کاشت ارقام زارعی حساس سبب می‌شود در کشورهایی همچون ایران که در مناطق جغرافیایی خشک و نیمه خشک دنیا واقع و همواره برای تولید گندم با مشکلاتی نظیر خشکسالی و کمبود آب روبرو هستند، محدودیت‌های بیشتری را برای تولید گندم به وجود آورد (Yahyaoui et al., 2004).

زنگ‌ها نه تنها از نظر میزان خسارت،

پراکنش و نقش بارز آن‌ها در اقتصاد کشورها، بلکه از نظر پیچیدگی روابط بین آن‌ها با میزبان‌هایشان بالاخص گندم، در شکل‌گیری و توسعه فعالیت‌های علمی و تحقیقاتی نیز نقش به‌سزایی داشته‌اند (McIntosh et al., 1995).

زنگ زرد گندم با عامل *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* مهم‌ترین بیماری قارچی گندم در بسیاری از مناطق جهان محسوب می‌شود و در بین سایر زنگ‌ها به دمای بهینه پایین‌تری برای بقا نیازمند است (Pathan et al., 2008).

با این وجود بررسی‌های اخیر نشان می‌دهند که عامل بیماری زنگ زرد به درجه حرارت‌های بالاتر سازگاری یافته است (Milus et al., 2009).

بروز این بیماری در مناطق معتدل و نسبتاً خشک به سازگاری عامل بیماری با شرایط این مناطق یعنی دمای بالای محیطی مرتبط است. با تغییر آب و هوا واکنش بیمارگر نیز تغییر می‌کند و احتمال ظهور نژادهای مقاوم به شرایط جدید خیلی زیاد است. بدین ترتیب وسعت حوزه فعالیت عامل بیماری زنگ زرد در عرض‌های جغرافیایی افزایش خواهد یافت و این مسئله در آینده نزدیک مشکلاتی مانند همه‌گیری‌های شدید در مناطقی که قبلاً این بیماری خسارت چندانی ایجاد نمی‌کرد، ایجاد خواهد کرد (Hodson, 2011).

در کشور ایران نیز زنگ زرد خسارت بیشتری نسبت به سایر زنگ‌ها روی محصول

زرد و میزبان آن انجام می‌شود، به عنوان مثال بادیبو و همکاران (Badebo *et al.*, 2008)، در تحقیقی روی ۲۱ لاین پیشرفته و ۲۰ ژنوتیپ گندم اتیوپی، با استفاده از ۹ نژاد زنگ زرد گندم جمع‌آوری شده از مناطق مختلف اتیوپی، وجود ژن‌های مرحله گیاهچه‌ای *Yr1*، *Yr2*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr6* و *Yr17* را در ۱۱ لاین پیشرفته تعیین و مشخص کردند تنها پنج رقم تجاری گندم حامل ژن‌های *Yr9* و *Yr7* بودند.

خسارحمی و همکاران (Khodarahmi *et al.*, 2009)، در آزمایشی از شش ژنوتیپ گندم *Seri/Kauz*، *Moghan3*، *Bolani*، *MV17*، *Kauz/Kauz/PVZ* و *Pishtaz* در یک تلاقی دی‌الل یک طرفه استفاده کردند و والدین F_1 ها را در مرحله گیاهچه‌ای در گلخانه نسبت به نژاد $134 E 134A^+$ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که برای هر چهار صفت دوره کمون، تیپ آلودگی، اندازه جوش‌ها و تراکم جوش‌ها مدل افزایشی - غالبیت می‌تواند مناسب باشد. والد *MV17* دارای ترکیب‌پذیری عمومی بالایی برای هر چهار صفت مورد مطالعه بود. وراثت‌پذیری خصوصی هر چهار صفت نیز نسبتاً بالا بود. آن‌ها انتخاب با استفاده از اجزاء مقاومت برای افزایش مقاومت به نژاد فوق را مفید گزارش کردند.

کادیر و همکاران (Kadir *et al.*, 2010) گیاهچه‌ها و گیاه‌های کامل F_2 حاصل از تلاقی $Izgi-01 \times Aytin-98$ نسبت به بیماری زنگ

گندم ایجاد می‌کند. ظهور نژادهای جدید عامل بیماری زنگ زرد در کشور ایران، با توجه به نزدیکی به منطقه و کانون ایجاد نژادهای جدید زنگ‌ها در شمال شرقی آفریقا و کشور یمن هر چند سال یک بار دور از انتظار نیست (Yahyaoui *et al.*, 2004).

علی‌رغم مؤثر بودن سموم قارچ‌کش در کنترل زنگ‌ها، به دلیل هزینه اقتصادی و آلاینده‌گی محیط زیست مبارزه شیمیایی ابزار مناسبی نبوده و توصیه نمی‌شود (Chen, 2005). راهبرد استفاده از ارقام مقاوم (مقاومت توارث‌پذیر) در جهت مدیریت کنترل زنگ‌ها مطمئن‌ترین و با صرفه‌ترین روش جلوگیری از خسارت زنگ‌ها است (Lin and Chen, 2007).

در مبحث مقاومت پایدار از طریق ایجاد ارقام مقاوم و کنترل زنگ زرد باید به این نکته توجه کرد که بسیاری از ژن‌های مقاومت به زنگ زرد یا از ارقام زراعی و یا از خویشاوندان وحشی گندم جمع‌آوری شده‌اند. اکثر این ژن‌ها دارای مقاومت مختص به یک یا چند نژاد خاص با واکنش فوق حساسیت هستند (Navabi *et al.*, 2004)، لذا در استفاده از منابع (ژن‌ها) مقاومت، باید دقت لازم به عمل آید تا بهترین نتایج ممکن ایجاد شود. استفاده نادرست و غیر اصولی و غیر منطقی از منابع مقاومت باعث از بین رفتن اثر موثر ژن‌های مقاومت می‌شود.

همه ساله مطالعات گسترده‌ای روی زنگ

تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شد. نامگذاری جدایه‌های زنگ زرد با استفاده از ژنوتیپ‌های افتراقی و لاین‌های ایزوژنیک یا تقریباً ایزوژنیک به روش جانسون و همکاران (Johnson *et al.*, 1972) انجام شد. ابتدا برای ایجاد آلودگی مصنوعی، سه جدایه از مناطق اردبیل، ساری و زرقان انتخاب شد که نماینده سه اقلیم آب و هوایی منطقه سرد (اردبیل)، منطقه معتدل (زرقان) و منطقه گرم و مرطوب شمال (ساری) باشند. با استفاده از گیاهچه‌های رقم حساس بولانی، به طور جداگانه جدایه‌ها تکثیر شدند. بعد از به دست آوردن مقدار کافی اسپور، مایه‌زنی به روش پودرپاشی روی ژنوتیپ‌های افتراقی انجام شد. پس از ۱۷-۱۹ روز، یادداشت‌برداری از عکس‌العمل گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های متمایزکننده به روش پیشنهادی مک‌نیل و همکاران (McNeal *et al.*, 1971) انجام شد. در سه آزمایش جداگانه دیگر، مقاومت ۴۴ لاین پیشرفته گندم و شاهد حساس بولانی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرحله گیاهچه‌ای با هر یک از سه پاتوتیپ زنگ زرد که تعیین نژاد شدند به طور جداگانه در شرایط گلخانه مورد آریابی قرار گرفت. روش کار آزمایش بدین صورت بود که از همه ژنوتیپ‌های افتراقی و همچنین لاین‌های پیشرفته گندم مورد مطالعه به تعداد ۲۰ بذر در داخل تشک‌های پتری به قطر ۹ سانتی‌متر روی کاغذ

زرد در شرایط مایه‌زنی مصنوعی در گلخانه و مزرعه مورد آریابی قرار دادند. جدایه زنگ زرد استفاده شده برای هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ روی ژنوتیپ‌های Lee، Kalyansona، Heins Peko، Heins Kolben، Express، Avocet'S، Avocet'R، Sonalika و Lemhi، Tres، Fedration4/Kavkaz و Fielder و یرو لانس داشت، آزمون کای اسکور نشان داد که مقاومت توسط حداقل یک ژن غالب در Izgi - 01 کنترل می‌شود.

وان و چن (Wan and Chen, 2011) ۳۳۶ نمونه برگ گندم آلوده به زنگ زرد را از ۲۴ ایستگاه در ایالات متحده جمع‌آوری کردند. بعد از تکثیر جدایه‌ها و آزمایش روی ارقام استاندارد، در مجموع ۶۰ نژاد زنگ زرد را شناسایی کردند. بیشترین فراوانی بیماری‌زایی روی ژن‌های Yr26، Yr44، Yr43، Yr27، Yr7، Yr8، Yr9، Yr17، YrExp2، YrTr1 و Yr2 وجود داشت.

پژوهش حاضر نیز به منظور تعیین مقاومت ۴۴ لاین پیشرفته گندم انجام شد تا در صورت وجود مقاومت موثر در این ارقام، منابع مقاومت جدید به منابع مقاومت قبلی افزوده شوند و در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام مقاوم به بیماری‌های گندم مورد استفاده قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۰ در گلخانه‌های زنگ زرد واحد بیماری‌های غلات، بخش

عمل تا ۲۰ روز بعد از مایه‌زنی ادامه داشت و روز بیستم، تیپ آلودگی ژنوتیپ‌ها بر اساس مقیاس ۰ تا ۹ به روش مک‌نیل و همکاران (McNeal *et al.*, 1971) یادداشت شد. در لاین‌هایی که جوش وجود نداشت برای دوره کمون عدد ۲۰ لحاظ شد. در این روش نمرات ۰ تا ۶ تیپ آلودگی نشان‌دهنده مقاومت و ۷ تا ۹ نشان‌دهنده حساسیت است. هر سه پاتوتیپ (جدایه) به طور جداگانه و در شرایط کاملاً یکسان روی گیاهچه‌های حاصل از کاشت ژنوتیپ‌های مورد بررسی مایه‌زنی شدند و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

برای تجزیه واریانس و تجزیه مرکب طرح آزمایشی، از نرم‌افزار SAS و Minitab و برای تجزیه کلاستر از نرم‌افزار SPSS، به روش UPGMA استفاده شد.

نتایج و بحث

شجره لاین‌های پیشرفته گندم نان مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده است.

در این تحقیق از سه نمونه زنگ زرد جمع‌آوری شده از مناطق اردبیل، ساری و زرقان استفاده شد. با توجه به ارزش‌های تعیین شده برای هر کدام از ارقام استاندارد (Differential varieties) بر اساس روش جانسون و همکاران (Johanson *et al.*, 1972) به ترتیب نژاد منطقه اردبیل $6A^+ E 6$ ، نژاد ساری $150A^+ E 198$ و نژاد منطقه زرقان

صافی مرطوب قرار داده شد و ۴۸ ساعت بعد، پس از جوانه‌زنی کامل هشت بذر به گلدان‌های کوچک حاوی مخلوط ۲:۱ پیت ماس و خاک مزرعه منتقل شد. گیاهچه‌های ۹ روزه حاصل از کاشت ارقام مختلف در مرحله برگ اول گیاهچه‌ای با مخلوطی از یوردینیوسپور و پودر تالک به نسبت ۴:۱ با استفاده از روش پودر پاشی مایه‌زنی شدند. مایه‌زنی در مرحله ۱۲ در مقیاس زادوکس (Zadoks *et al.*, 1974)، انجام شد. گیاهچه‌های مایه‌زنی شده به مدت ۲۴ ساعت در شرایط تاریکی کامل و دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد با رطوبت اشباع (بیش از ۹۵٪) قرار داده شدند، سپس گلدان‌ها به شرایط گلخانه‌ای با رطوبت ۶۰ تا ۷۰٪ و دمای ۱۵-۱۸ درجه سانتی‌گراد با نور ۱۶ هزار لوکس حاصل از ترکیب نور لامپ‌های فلورسنت و سدیمی و ۱۶ ساعت طول روز منتقل شدند و به مدت ۲۰ روز در این شرایط باقی ماندند. آبیاری گیاهچه‌ها به صورت ناشی انجام شد. برای اندازه‌گیری دوره کمون (تعداد روز از زمان مایه‌زنی تا ظهور اولین جوش)، هشت روز بعد از مایه‌زنی برگ‌های گیاهچه‌ها را مورد بازدید قرار داده و هر گیاهچه‌ای که اولین جوش روی برگ آن ظاهر شده بود، آن را با حلقه پلاستیکی بسته تا مشخص شود. از رنگ‌های مختلف حلقه پلاستیکی برای روزهای متمادی استفاده شد. سپس تعداد روز از زمان مایه‌زنی تا مشاهده اولین جوش روی برگ اول تک تک بوته‌ها در هر سه تکرار یادداشت‌برداری شد. این

جدول ۱- شجره لاین‌های پیشرفته نان گندم

Table 1. Pedigree of bread wheat advanced lines

Line No.	Pedigree
1	84.40023/WEAVER//BORL95/3/ALTAR84/AE.SQ/2*OPATA
2	KAUZ*2/BOW//KAUZ/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA
3	KAUZ*2/BOW//KAUZ/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA
4	ATTILA/3*BCN/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA
5	SERI/RAYON/3/CHEN/AE.SQ//2*OPATA
6	YAR/AE.SQUARROSA (783)/4/GOV/AZ/ /MUS/3/SARA /5/MYNA/VUL//JUN
7	BSP95.14/ATTILA/3/ALTAR 84/AE.SQ//2*OPATA
8	BSP95.14/ATTILA/3/ALTAR 84/AE.SQ//2*OPATA
9	BSP95.14/ATTILA/3/ALTAR 84/AE.SQ//2*OPATA
10	BSP95.14/ATTILA/3/ALTAR 84/AE.SQ//2*OPATA
11	BSP95.14/ATTILA/3/ALTAR 84/AE.SQ//2*OPATA
12	VORONA/KAUZ//PASTOR/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA
13	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//2*BCN/3/PASA/SAET
14	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//2*BCN/3/PASA/SAET
15	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//2*BCN/3/PASA/SAET
16	CHIBIA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER/6/KASO2
17	CHIBIA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER/6/KASO2
18	CHIBIA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER/6/KASO2
19	2.49/PASTOR/5/CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//JUP/BJY/3/SKAUZ/4/KAUZ
20	WQ7834/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (213)//PGO
21	PAM94/38ALTAR84/AEGILOPSSQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
22	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
23	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
24	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
25	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
26	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
27	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
28	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
29	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
30	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
31	PAM94/38ALTAR 84/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//OPATA/4/PASTOR
32	YACO//ALTAR 84/AE. SQUARROSA (191)/3/2*YACO/4/PRL/SARA//TSI/VEE#5
33	68112/WARD//AE.SQUARROSA (369)/3/PASTOR/4 / PASTOR
34	68112/WARD//AE.SQUARROSA (369)/3/PASTOR /4/ PASTOR
35	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//KAUZ/3/2* PJN/BOW//OPATA
36	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//KAUZ/3/2* PJN/BOW//OPATA
37	CROC_1/AE.SQUARROSA (205)//KAUZ/3/2* PJN/BOW//OPATA
38	CHEN/AE.SQ//2*OPATA/3/PASTOR/4/PFAU/VEE#9// URES
39	SCA/AE.SQUARROSA (409)//PASTOR/3/PASTOR
40	SCA/AE.SQUARROSA (409)//PASTOR/3/PASTOR
41	SCA/AE.SQUARROSA (409)//PASTOR/3/PASTOR
42	SCA/AE.SQUARROSA (409)//PASTOR/3/PASTOR
43	SCA/AE.SQUARROSA (409)//PASTOR/3/PASTOR
44	MILAN/SHA7/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)// OPATA
45	Bolani (Susceptible cheek)

برای ژن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. الگوی

بیماری‌زایی برای برخی از ژن‌ها در جدایه‌ها

6 E 150A⁺ تعیین شد. مشخصات هر یک از

جدایه‌ها و فرمول بیماری‌زایی / غیربیماری‌زایی

جدول ۲- فرمول بیماریزایی / غیربیماریزایی پاتوتیپ‌های (نژاد) *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* عامل زنگ زرد در گلخانه

Table 2. Avirulence/virulence formula of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* the causal agent of yellow rust in greenhouse

جدایه Isolate	پاتوتیپ (نژاد) Pathotype (race)	فرمول بیماریزایی/غیر بیماریزایی Avirulence/virulence formula
Sari ساری	198 E 150A ⁺	<i>Yr1,3,4,5,10,15,24,26,ND,SD,CV,SP / Yr2,2+,6,6+,7,7+,8,9,9+,17,22, 23,25,27,32,Su,A</i>
Zarghan زرقان	6 E 150A ⁺	<i>Yr1,3,4,5,9+,10,15, 24,26,32,ND,SD,Su, CV,SP / Yr2,2+,6,6+,7,7+,8,9, 17,22,23,25,27,A</i>
Ardebil اردبیل	6 E 6A ⁺	<i>Yr1,2+,3,4,5,8,9+,10,15, 17,24,26,27,32,ND,SD,Su, CV,SP / Yr2,6,6+,7,7+,9,22,23,25,A</i>

دادن بیماریزایی عامل بیماری. تیپ آلودگی تحت تاثیر شرایط محیطی، سن میزبان، تراکم اسپور و زمان ارزیابی گیاه قرار می‌گیرد و با کاهش تیپ آلودگی میزان مقاومت افزایش می‌یابد (Roelfs *et al.*, 1992). براساس اطلاعات مندرج در جدول ۳، در بررسی مقاومت گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه ۴۲/۲٪ از مواد آزمایشی دارای تیپ آلودگی حساس ۷-۹، ۳۱/۱٪ دارای تیپ آلودگی نیمه مقاوم تا نیمه حساس ۳-۶ و ۲۶/۷٪ دارای تیپ مقاوم ۰-۲ بودند.

دوره کمون جزء بسیار مهمی از مقاومت نسبی در زنگ‌های غلات است که در بررسی سرعت گسترش همه‌گیری و به عنوان یکی از اجزاء مقاومت برای مطالعه مقاومت کمی استفاده شده است. ویژگی مقاومت کمی گندم نسبت به زنگ زرد، تیپ آلودگی حساس در مرحله گیاهچه‌ای (و نه در گیاهان بالغ در مزرعه) و گسترش بطئی همه‌گیری است

متفاوت بود که این امر بیانگر متفاوت بودن جدایه‌های مورد استفاده بود. بر اساس نتایج حاصله برای گیاهان حامل ژن‌های *Yr6*، *Yr2*، *Yr7*، *Yr9*، *Yr22*، *Yr23*، *Yr25* و *YrA* در تمام مناطق مورد مطالعه بیماری‌زایی مشاهده شد و در گیاهان حامل ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr24*، *Yr26*، *YrND*، *YrSP* و *YrSD* در هیچ یک از جدایه‌ها بیماری‌زایی مشاهده نشد. در مطالعات افشاری (Afshari, 2008) و افشاری و همکاران (Afshari *et al.*, 2010) روی زنگ زرد بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ نیز برای ژن‌های *Yr1*، *Yr3*، *Yr4*، *Yr5*، *Yr10*، *Yr15*، *Yr24* و *YrCV* بیماری‌زایی گزارش نشده است.

ارزیابی مقاومت گیاهچه‌ای ژنوتیپ‌های گندم توسط اجزای مقاومت شامل تیپ آلودگی و دوره نهان انجام شد. تیپ آلودگی اثر متقابل بین میزبان و عامل بیماری است که هم می‌تواند برای توصیف مقاومت مورد استفاده قرار گیرد و هم برای نشان

جدول ۳- میانگین تیپ آلودگی و دوره کمون ژنوتیپ‌های گندم نان در مقابل نژادهای *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* در گلخانه

Table 3. Mean reaction type and latent period on bread wheat genotypes against races of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* in greenhouse

Genotype No.	198 E 150A ⁺		6 E 6A ⁺		6 E 150A ⁺	
	IT	LP	IT	LP	IT	LP
1	7.13	11.00	7.75	11.98	7.21	11.73
2	4.23	14.33	1.75	20.00	3.24	14.62
3	0.00	20.00	1.44	20.00	3.20	14.00
4	8.00	10.00	7.62	11.84	7.02	11.86
5	7.34	11.00	7.51	11.85	7.27	11.64
6	7.08	13.00	7.19	12.00	7.13	12.00
7	7.20	12.00	3.53	14.00	4.86	13.00
8	7.41	11.33	0.50	20.00	4.23	13.95
9	7.29	10.93	0.00	20.00	5.08	13.10
10	7.21	11.27	7.26	11.06	7.08	12.00
11	7.03	11.03	1.93	20.00	4.24	13.75
12	3.19	14.00	1.25	20.00	3.27	14.86
13	7.68	10.55	8.00	10.00	7.20	10.86
14	7.13	11.31	7.39	11.86	7.39	11.10
15	0.50	20.00	0.75	20.00	5.24	12.88
16	0.00	20.00	0.16	20.00	0.25	20.00
17	7.12	10.94	5.23	13.08	3.28	14.39
18	0.33	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00
19	7.11	11.32	7.19	11.30	7.09	11.34
20	0.00	20.00	0.00	20.00	0.12	20.00
21	7.24	10.83	2.00	20.00	3.15	14.42
22	0.48	20.00	0.83	20.00	0.75	20.00
23	4.33	14.21	5.24	13.16	4.23	14.05
24	7.51	10.86	3.55	15.07	3.48	14.13
25	7.22	10.92	7.23	11.19	7.10	11.37
26	7.28	10.97	7.64	11.13	7.15	11.23
27	7.26	11.03	7.04	11.14	7.24	11.01
28	7.16	11.12	5.34	13.14	5.16	13.46
29	0.00	20.00	0.64	20.00	1.27	20.00
30	1.00	20.00	0.85	20.00	0.00	20.00
31	0.79	20.00	0.73	20.00	0.41	20.00
32	7.43	10.73	7.21	10.88	7.31	11.06
33	7.14	11.10	7.06	11.94	7.28	11.18
34	7.21	10.92	7.09	11.18	7.64	10.89
35	7.12	12.34	7.86	10.08	7.42	10.43
36	8.00	10.00	7.34	10.76	7.16	11.15
37	7.83	10.28	4.12	14.10	7.17	11.21
38	8.32	10.50	7.06	11.02	8.00	10.00
39	8.45	10.36	7.28	10.93	8.00	11.00
40	0.00	20.00	0.42	20.00	1.32	20.00
41	0.00	20.00	0.63	20.00	1.16	20.00
42	2.00	20.00	0.52	20.00	0.64	20.00
43	1.24	20.00	0.00	20.00	1.30	20.00
44	1.13	20.00	1.86	20.00	0.83	20.00
45	9.00	10.00	9.00	10.00	8.00	10.00

IT: تیپ آلودگی گیاهچه‌ها بر اساس مقیاس مکنیل و همکاران (McNeal *et al.*, 1971); LP: دوره کمون
 IT: Infection type (Seedling infection type on the 0-9 scale of McNeal *et al.*, 1971); LP:
 Latent period
 For pedigree of genotypes see Table 1. برای شجره ژنوتیپ‌ها به جدول ۱ مراجعه شود.

آن‌ها دیگری کاهش می‌یابد. نتایج همبستگی اجزای مقاومت حاصل از این پژوهش با نتایج سایر محققین مطابقت دارد. ما و سینک (Ma and Singh, 1996)، زرنیدی و همکاران (Zarandi *et al.*, 2011)، بخشی و همکاران (Bakhshi *et al.*, 2012)، عظیمی کارگر و همکاران (Azimi Kargar *et al.*, 2012)، برای صفات دوره کمون و تیپ آلودگی تنوع ژنتیکی را بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه خود گزارش و همچنین به همبستگی منفی بالا بین صفات تیپ آلودگی و دوره کمون اشاره کرده‌اند.

برخی از ژنوتیپ‌های به کار رفته در این پژوهش سیستم لاین هستند که دارای شجره یکسان ولی سابقه گزینش (Selection history) متفاوت دارند. واکنش‌های متفاوت این ژنوتیپ‌ها به پاتوتیپ‌های مورد مطالعه به خاطر سابقه گزینش و داشتن ژن‌های متفاوت است. تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات دوره کمون و تیپ آلودگی برای تک تک جدایه‌ها انجام شد (شکل ۱). ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه بر اساس اجزاء مقاومت اندازه‌گیری شده در تجزیه کلاسترها ژنوتیپ‌ها نسبت به هر یک از نژادها در سه کلاس مقاوم، نیمه مقاوم تا نیمه حساس و حساس طبقه‌بندی شدند. لاین‌های شماره ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳ و ۴ لاین‌ها با احتمال برابر بیماری مصون بودند، این لاین‌ها با احتمال

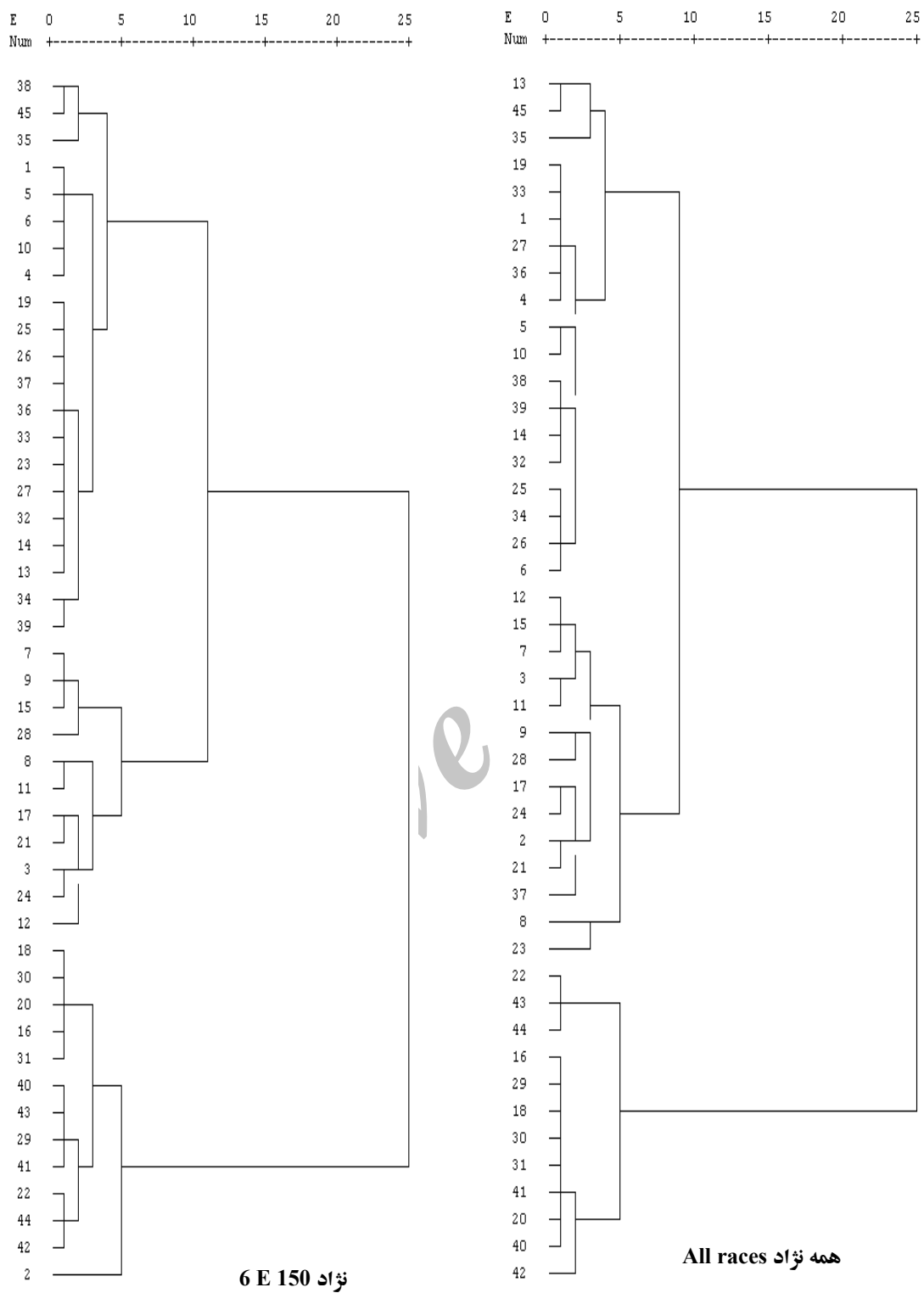
(Broers and Lopez Atilano, 1996)؛ (Riberio DoVale *et al.*, 2001).

دوره کمون آسان‌ترین جزء مقاومت قابل اندازه‌گیری در گلخانه بوده که با کمترین خطا همراه است (Shaner, 1980)، بنابراین این صفت می‌تواند همراه با سایر اجزاء مقاومت به عنوان معیار انتخاب خوبی برای غربال کردن مواد ژنتیکی در گلخانه به کار برده شود.

برای اطمینان از نرمال بودن داده‌های دوره کمون و تیپ آلودگی در شرایط گلخانه، آزمون نرمالیتی برای داده‌ها به وسیله نرم‌افزار Minitab انجام و پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به پاتوتیپ‌ها برای هر دو صفت وجود داشت (جدول ۴). این امر نشان‌دهنده تفاوت‌های ژنتیکی در میان ژنوتیپ‌های گندم بود.

مقایسه میانگین دوره کمون ژنوتیپ‌ها هم نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر این صفت با هم اختلاف داشتند (جدول ۳).

ضرایب همبستگی اجزای مقاومت به زنگ زرد برای هر سه نژاد در جدول ۵ درج شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها، این بررسی نشان داد که همبستگی منفی بالایی بین دوره کمون و تیپ آلودگی در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. به عبارت دیگر با افزایش یکی از



ادامه شکل ۱
Table 1. Continued

جدول ۴- تجزیه واریانس دوره کمون و تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های گندم برای نژادهای *(Puccinia striiformis f.sp. tritici)*
Table 4. Variance analysis of infection type and latent period of wheat genotypes for races of *Puccinia striiformis f.sp. tritici*

منبع تغییرات	درجه آزادی	198 E 150A ⁺		6 E 6A ⁺		6 E 150A ⁺	
		MS _{IT}	MS _{LP}	MS _{IT}	MS _{LP}	MS _{IT}	MS _{LP}
S.O.V.	df.						
Replication	2	0.37 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.78 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.63 ^{ns}
Gynotype	44	22.55 ^{**}	39.90 ^{**}	26.19 ^{**}	40.21 ^{**}	29.73 ^{**}	47.32 ^{**}
Error	88	0.019	0.05	0.023	0.01	0.13	0.07
CV (%)		4.78	2.63	5.26	3.9	4.27	2.74

ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.
ns and **: Not significant, and significant at 1% probability level, respectively

جدول ۵- همبستگی صفات دوره کمون و تیپ آلودگی ژنوتیپ‌های گندم برای نژادهای *Puccinia striiformis f.sp. tritici*
Table 5. Correlation coefficients between infection type and latent period of wheat genotypes for races of *Puccinia striiformis f.sp. tritici*

ضریب همبستگی	نژاد Race		
	198 E 150A ⁺	6 E 6A ⁺	6 E 150A ⁺
Correlation Coefficient	-0.97 ^{**}	-0.95 ^{**}	-0.98 ^{**}

** : معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

** : Significant at 1% probability level.

می‌تواند موجب بروز مقاومت شود. به دلیل زیاد بودن ژن‌ها ردیابی این که کدامیک از ژن‌های مقاومت در این لاین‌ها وجود دارند مشکل است. برای اطمینان کامل از این امر استفاده از پاتوتیپ‌های بیشتر و مارکرهای مولکولی ضروری است.

به جز رقم بولانی (به عنوان شاهد)، نوزده ژنوتیپ دیگر نسبت به همه پاتوتیپ‌ها حساس بودند که بیشترین تیپ آلودگی و کمترین دوره کمون نیز برای این ژنوتیپ‌ها ثبت شد. فاکتورهای بیماری‌زایی مشترکی که در تمامی

زیاد دارای ژن‌های مقاومت از نوع گیاهچه‌ای هستند که می‌توان از آن‌ها به عنوان منابع مقاومت نسبت به این سه نژاد در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد. در این لاین‌ها که نسبت به همه پاتوتیپ‌های مورد مطالعه مقاومت کامل نشان دادند احتمال می‌رود هر یک از ژن‌های مقاومت *Yr15, Yr10, Yr5, Yr4, Yr3, Yr1, YrCV و YrSD, YrND, YrSP, Yr26, Yr24* یا ژن‌های مقاومت ناشناخته دیگری به تنهایی و یا ترکیبی از آن‌ها همزمان باهم وجود داشته باشد. وجود هر یک از این ژن‌ها در ژنوتیپ‌ها

جدول ۲ و جدول ۶ چنین استنباط می‌شود که در این ژنوتیپ‌ها به احتمال زیاد وجود ژن‌های $Yr9^+$ ، $YrSU$ و $Yr32$ به تنهایی و یا ترکیبی از آن‌ها باعث ایجاد مقاومت شده است و یا حتی مقاومت می‌تواند توسط ژن(ها) ناشناخته دیگری که هنوز شناسایی نشده‌اند ایجاد شده باشد. در ژنوتیپ شماره ۳۷ نیز واکنش مقاومت از نوع مقاومت اختصاص نژاد خاص بود چرا که برای پاتوتیپ $6A^+$ E 6 واکنش مقاومت و برای پاتوتیپ‌های $150A^+$ E 6 و $150A^+$ E 198 واکنش حساسیت نشان داد لذا استنباط می‌شود مقاومت آن به احتمال زیاد در اثر ژن‌های $Yr2^+$ ، $Yr8$ ، $Yr17$ و $Yr27$ به تنهایی یا ترکیب‌های مختلف این چهار ژن و یا حتی مقاومت توسط ژن(ها) ناشناخته دیگری که هنوز شناسایی نشده‌اند ایجاد شده باشد.

به طور کلی استفاده از پاتوتیپ‌های بیشتر جهت فراهم کردن شرایط بیماریزایی اختصاصی‌تر برای هر یک از ژن‌های مقاومت و همچنین استفاده از مارکرهای مولکولی می‌تواند محقق را در تشخیص ژن‌های مقاومت موجود در ژنوتیپ‌های گندم یاری کنند و اطلاعات حاصله را قابل اطمینان‌تر سازد. مارکرهای مولکولی برای تمام ژنوتیپ‌های مطالعه شده ضروری هستند چرا که مشخص می‌کنند هر کدام از ژنوتیپ‌ها دارای کدام ژن هستند و مطالعات گلخانه‌ای می‌تواند آن را تکمیل، تایید و یارد کند.

توصیه می‌شود از کلیه ژنوتیپ‌های مقاوم

پاتوتیپ‌های مورد مطالعه برای ژن‌های $Yr2$ ، $Yr6$ ، $Yr7$ ، $Yr9$ ، $Yr22$ ، $Yr23$ ، $Yr25$ و YrA وجود داشت، باعث شد. این ژن‌های مقاومت در مقابل هیچ کدام از این نژادها کارایی نداشته باشند.

در کلاستر صفات نسبت به همه پاتوتیپ‌ها، ژنوتیپ‌هایی که در گروه نیمه مقاوم تا نیمه حساس قرار گرفتند، جدا شدند و به همراه اطلاعات مربوط به طیف بیماریزایی و غیر بیماریزایی پاتوتیپ‌ها (جدول ۲) و واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به پاتوتیپ‌های مورد مطالعه (جدول ۳)، در جدول ۶ خلاصه شد بدین منظور که شناسایی فاکتورهای مقاومت در این ژنوتیپ‌ها انجام شود.

برای ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۳، ۱۲، ۱۵ و ۲۳ حساسیت برای هیچ یک از پاتوتیپ‌ها وجود نداشت و در برابر پاتوتیپ‌ها واکنش نیمه مقاومت تا نیمه حساس نشان دادند لذا ردیابی ژن مقاومت با توجه به اطلاعات موجود میسر نبود. استفاده از پاتوتیپ‌های بیشتر و همچنین استفاده از مارکرهای مولکولی برای تشخیص ژن مقاومت این لاین‌ها می‌تواند کارآمد باشد.

ژنوتیپ‌های شماره ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۷، ۲۱، ۲۴ و ۲۸ واکنش مقاومت اختصاص به نژادهای خاص را داشتند بدین صورت که برای پاتوتیپ‌های $6A^+$ E 6 و $150A^+$ E 6 واکنش مقاومت و برای پاتوتیپ $150A^+$ E 198 واکنش حساسیت را نشان دادند. لذا با توجه به مطالب ذکر شده و اطلاعات مندرج در

جدول ۶- واکنش ژنوتیپ‌های گندم نسبت به نژادهای *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*
 Table 6. Wheat genotypes response to races of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*

Genotype No.	198 E 150A ⁺	6 E 6A ⁺	6 E 150A ⁺
2	R	R	R
3	R	R	R
7	S	R	R
8	S	R	R
9	S	R	R
11	S	R	R
12	R	R	R
15	R	R	R
17	S	R	R
21	S	R	R
23	R	R	R
24	S	R	R
28	S	R	R
37	S	R	S

S: Susceptible (Virulent)

S: حساس (بیماریزا)

R: Resistant (Avirulent)

R: مقاوم (غیر بیماریزا)

برای شجره ژنوتیپ ها به جدول ۱ مراجعه شود.

For pedigree of genotypes see Table 1.

بیماری زنگ زرد گندم که خسارت‌زاترین بیماری در بین بیماری‌های گندم است موثر واقع شود.

ارزیابی شده از این پژوهش در برنامه‌های به‌نژادی گندم کشور استفاده بهینه شود و امید است منابع مقاومت معرفی شده در جهت پیشبرد هر چه بهتر ایجاد مقاومت‌های پایدار برای

References

- Afshari, F. 2008.** Prevalent pathotype of *Puccinia striiformis* f.sp.*tritici* in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 10: 67-78.
- Afshari, F., Nazari, K., and Ebrahimnejad, S. 2010.** Identification of sources of resistance to stripe (yellow) rust in Iranian landraces of wheat. Proceedings of the 8th International Wheat Conference, St. Petersburg, Russia. Page 220.
- Azimi Kargar, A., Afshari, F., Khodarahmi, M., and Kaviani, B. 2012.** Evaluation of resistance of some wheat commercial cultivars and elite lines to four pathotypes of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*. European Journal of Experimental Biology 2(5):

1474-1485

- Badebo, A., Stubbs, R. W., van Ginkel, M., and Gebeyehu, G. 2008.** Identification of resistance genes to *Puccinia striiformis* in seedlings of Ethiopian and CIMMYT bread wheat varieties and lines. *The Netherlands Journal of Plant Pathology* 96: 199-210.
- Bakhshi, T., Bozorgipour, R., Afshari, F., and Kaviani, B. 2012.** Evaluation of resistance of some wheat doubled haploid lines to virulent pathotypes of the causal agent of wheat leaf rust. *European Journal of Experimental Biology* 2(5): 1486-1491.
- Broers, L. H. M., and Lopez Atilano, R. M. 1996.** Effect of quantitative resistance in wheat on the development of *Puccinia striiformis* during early stages of infection. *Plant Disease* 80: 1265–1268.
- Chen, X. M. 2005.** Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*) on wheat. *Plant Pathology* 27: 314-337.
- Johnson, R., Stubbs, R. W., Fuchs, E., and Chambrlain, N. H. 1972.** Nomenclature for physiologic race of *Puccinia striiformis* infecting wheat. *Transactions of the British Mycological Society* 58: 475-480.
- Hodson, D. P. 2011.** Shifting boundaries: challenges for rust monitoring. *Euphytica* 179: 93-104.
- Kadir, A., Zafer, M., Lutfi, C., Fazıl, D., Necmettin, B., Cakmak, M., Savaş B., and Yorgancılar, O. 2010.** Research on inheritance of yellow rust resistance in Izgi-01 wheat cultivar. *Proceedings of the 8th International Wheat Conference*, St. Petersburg, Russia. Page 240.
- Khodarahmi, M., Jalal Kamali, M. R., and Afshari, F. 2009.** Diallel analysis of yellow rust resistance components in wheat genotypes. *Proceedings of the 12th International Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference*, Antalya, Turkey. Page 154.
- Lin, F., and Chen, X. M. 2007.** Genetics and molecular mapping of genes for race-specific all-stage resistance and non-race-specific high-temperature adult-plant resistance to stripe rust in spring wheat cultivar Alpowa. *Theoretical and Applied Genetics* 114: 1277–1287.
- Ma, H., and Singh, R. P. 1996.** Expression of adult resistance to stripe rust at different

- growth stages of wheat. *Journal of Plant Disease* 80: 373-379.
- McIntosh, R. A., Wellings, C. R., and Park, R. F. 1995.** *Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes*. CSIRO, Australia. 200 pp.
- McNeal, F. H., Konzak, C. F., Smith, E. P., Tate, W. S., and Russell, T. S. 1971.** A uniform system for recording and processing cereal research data. United State Department of Agricultural Research Services, ARS, pp. 34-121.
- Milus, E. A., Kristensen, K., and Hovmøller, M. S. 2009.** Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* causing stripe rust of wheat. *Phytopathology* 99: 89-94.
- Navabi, A., Singh, R. P., Tewari, J. P., and Briggs, K. G. 2004.** Inheritance of high levels of adult-plant resistance to stripe rust in Wave wheat genotypes. *Crop Science* 44: 1156-1162.
- Pathan, A. K., Wellings, C. R., Bariana, H. S., and Park, R. F. 2008.** Evaluation of seedling and adult plant resistance in European wheat cultivars to Australian isolates of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*. *Euphytica* 163: 283-301.
- Riberio DoVale, F. X., Parlevliet, J. E., and Zambolim, L. 2001.** Concepts in plant disease resistance. *Fitopatologia Brasileira* 26: 577-589.
- Roelfs, A. P., Singh, R. P., and Saari, E. E. 1992.** *Rust Disease of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMIT, Mexico, D.F. 81pp.
- Shaner, G. 1980.** Probit for analyzing latent data in studies of slow rusting resistance. *Phytopathology* 70: 1179-1182.
- Wan, A. M., and Chen, X. M. 2011.** Races and virulences of *Puccinia striiformis* in the United States in 2010. 2011 BGRI Technical Workshop, University of Minnesota, USA. Page 165.
- Yahyaoui, A., Singh, R. P., and Wellings, C. R. 2004.** Status, Approaches, and Management. Second Regional Yellow Rust Conference for Central and West Asia and North Africa. 22-26 March, Islamabad, Pakistan. Page 18.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974.** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.
- Zarandi, F., Afshari, F., and Rezaie, S. 2011.** Virulence factors of *Puccinia triticina* the causal agent of wheat leaf rust in different parts of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 27-1: 219-231 (in Persian).