Iranian Journal of Plant Protection Science
Vol 50, No 1, Spring & Summer 2019 (75-85)
DOI: 10.22059/ijpps.2019.234521.1006789

دانش گیاهپزشکی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸ (ص۸۵-۷۵)

ارزیابی مقاومت برخی ارقام گندم نسبت به بیماری پاخوره غلات

صدیقه محمدی کهنه شهری[۱]، سعید عباسی[۲*]، مهیار شیخ الاسلامی[۳]، صحبت بهرامی نژاد[٤] و داریوش صفایی[۳]

۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۳. استادیار پژوهشی بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

٤. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۳/۱۰- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۳۱)

چکیده

بیماری پاخوره با عامل *Gaeumannomyces graminis* var *tritici* (*Ggt*) مخرب‌ترین بیماری ریشهٔ غلات در سراسر جهان است. این بیماری از نقاط مختلف ایران از جمله کرمانشاه گزارش شده است. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی مقاومت ارقام گندم، ۱۷ رقم رایج گندم در استان کرمانشاه با مخلوطی از چهار جدایهٔ منتخب *Ggt* مایه‌زنی و مقاومت آن‌ها در شرایط مزرعه بررسی شد. کاشت ارقام طی سال زراعی ۹۱-۹۰ در پلات‌هایی به ابعاد ۱۰۰×۵۰ سانتی‌متر انجام شد. برای ارزیابی مقاومت و تحمل، صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، وزن هزار دانه، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، وزن تر کل، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک کل، درصد آلودگی ریشه، تعداد پنجه در بوته و تعداد دانه در خوشه بررسی شد. در این پژوهش، شاخص‌های مختلف تنش از جمله شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI) و میانگین هارمونیک (HAM) محاسبه شدند. بر اساس پارامتر RS که دربرگیرندهٔ تمامی شاخص‌ها است، ارقام مرودشت، پارسی و افلاک به‌عنوان ارقام متحمل و ارقام سرداری، سیوند، شیراز و الوند به‌عنوان ارقام حساس شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: پاخورهٔ گندم، تحمل، کرمانشاه، *Gaeumannomyces graminis*.

Evaluation of resistance of some wheat cultivars to the take-all disease

Sedigheh Mohammadi kohnehshahri[1], Saeed Abbasi[2*], Mahyar Sheikholeslami[3], Sohbat Bahraminejad[4] and Darioush Safaei[3]

1, 2. Former M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Plant Protection, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center of Kermanshah Province, Kermanshah, Iran
4. Associate Professor, Department of Agronomy and plant breeding, Razi University, Kermanshah, Iran

(Received: May 31, 2017 - Accepted: May 21, 2019)

ABSTRACT

Take-all disease, caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (*Ggt*), is the most devastating root disease of cereals throughout the world. The disease has been reported from different regions of Iran, including Kermanshah province. To evaluate current wheat cultivars for resistance or tolerance to take-all disease, 17 wheat cultivars were inoculated by a mixture of four selected isolates of Ggt and their resistance was evaluated under field conditions. In the spring of 2012, these cultivars were sown in microplots with 100×50 cm dimensions. The inoculum, prepared on autoclaved oat seeds, were added to every row of sowing and then covered with soil. Different traits including grain yield, biological yield, thousand grain weight, root fresh weight, shoot fresh weight, total fresh weight, root dry weight, shoot dry weight, percent of diseased rootlets, number of tillers, number of grains in the spike, weight of grains in 1 m rows, average weight of grains in the spike, total dry weight, harvest index, and grain yield in 1 m^2 were recorded and analyzed. In this study, different stress indices including stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), yield index (YI), and Harmonic mean (HAM) were calculated. Based on the RS parameter, which includes all the indices, Marvdasht, Parsi, and Aflak were introduced as tolerant cultivars. Moreover, Sardari, Sivand, Shiraz, and Alvand were identified as susceptible cultivars.

Keywords: *Gaeumannomyces graminis*, Kermanshah, tolerance, wheat take-all.

* Corresponding author E-mail: abbasikhs@yahoo.com

مقدمه

بیماری پاخوره ناشی از قارچ *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arex & Oliver در سطح جهانی یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های گندم و مهم‌ترین بیماری ریشهٔ این محصول است (Cook, 2003; Mathre, 1992; Walker, 1972) این بیمارگر می‌تواند طیف گسترده‌ای از گراس‌های خودرو و زراعی (بیش از ۳۰۰ گونه گرامینه) را مورد حمله قرار دهد (Gutteridge *et al.*, 2005). گونهٔ *G. graminis* دارای چهار واریتهٔ شناخته‌شده با طیف میزبانی متفاوت شامل *G. graminis*. var. *tritici* (*Ggt*)، *G. graminis*. var. *avenae* (*Gga*)، *G. graminis* var. *maydis* (*Ggm*) و *G. graminis* var. *graminis* (*Ggg*) است. واریتهٔ *Ggt* عامل اصلی پاخورهٔ گندم، به جو، تریتیکاله و چاودار نیز حمله می‌کند، اما قادر به ایجاد آلودگی در یولاف نیست. واریتهٔ *Gga* علاوه بر میزبان‌های فوق یولاف را نیز مورد حمله قرار می‌دهد. واریتهٔ *Ggm* اغلب به ذرت حمله می‌کند و واریتهٔ *Ggg* برخی علف‌های گرامینه، برموداگراس و برنج را مورد حملهٔ خود قرار می‌دهد (Fouly *et al.*, 1996; Freeman & Ward, 2004). از راهکارهای مهار این بیماری می‌توان به روش‌های زراعی مانند تناوب، شخم عمیق، از بین بردن بقایای گیاهی و مهار علف‌های هرز اشاره نمود (Cook, 2003). اعمال تناوب زراعی به‌منظور جلوگیری از طغیان بیماری، مؤثر است. بااین‌حال، محدودیت گیاهان مناسب برای تناوب یا کنترل ناموفق علف‌های هرز گرامینه موجب استمرار بیماری می‌شود. مهار این بیماری به دلیل آن‌که منبع مقاومت قابل اتکایی به بیماری در میزبان‌های هریک از واریته‌های بیمارگر، شناخته نشده است، کار مشکلی است (Liu *et al.*, 2001). در خانواده گرامینه، مقاومت نسبی به قارچ عامل بیماری پاخورهٔ گندم و جو *Ggt* وجود دارد. چاودار دارای مقاومت نسبی به این واریته بوده و یولاف مقاوم است (Rothrock, 1988; Solel *et al.*, 1990)؛ اما گزارش‌های متعدد نشان می‌دهند که منبع کاملاً مقاوم به بیماری در گندم و جو وجود ندارد (Cook, 2003; Fassihiani & Zare, 2010)؛ بااین‌حال، درجهٔ حساسیت و تحمل ارقام مختلف، متفاوت بوده و ارزیابی درجهٔ مقاومت ارقام مختلف می‌تواند در کاهش خسارت بیماری راهگشا باشد. بر اساس نتایج پژوهش Fassihiani & Zare (2010) که روی ارقام جو صورت گرفته است، جو بدون پوشینه بیشترین و جو شش ردیفه کمترین میزان آلودگی ریشه و شاخص نشانه‌های بیماری را نشان دادند و انواع ارقام جو دو و چهار ردیفه مابین جو بدون پوشینه و جو شش ردیفه قرار گرفتند. ارزیابی مقاومت دو ژنوتیپ گندم نسبت به عامل پاخورهٔ گندم نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های Temu89-72 و Bayonet از نظر میزان پنجه‌زنی و گل‌دهی در مقاومت به بیماری تفاوت معنی‌داری وجود دارد (Penrose, 1995). در آزمایشی که روی ۳۲۴ ژنوتیپ گندم زمستانه صورت گرفت، ارقام Dream و Flair بیشترین فراوانی را در شجرهٔ لاین‌های مقاوم داشتند (Liatukas *et al.*, 2010). در این پژوهش، به‌منظور تعیین میزان مقاومت برخی ارقام تجاری گندم و نیز دست‌یابی به منابع مقاومت برای انجام پژوهش‌های به‌نژادی، تعدادی از ارقام گندم از نظر مقاومت و تحمل به بیماری پاخوره در شرایط مزرعه ارزیابی شدند.

مواد و روش‌ها

ارقام گندم

در این پژوهش، از ۱۷ رقم متداول تحت کشت گندم در استان کرمانشاه استفاده شد (جدول ۱). بذرهای ارقام مذکور از بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه تهیه شدند.

جدول ۱. فهرست ارقام گندم در آزمون ارزیابی مقاومت و تحمل نسبت به *G. graminis*. var. *tritici*

Table 1. List of wheat cultivars used for the evaluation of resistance and tolerance to *G. graminis*. var. *tritici*

No	Cultivar	Growth type	No	Cultivar	Growth type	No	Cultivar	Growth type
1	Aflak	Spring	7	Marvdasht	Spring	13	Sivand	Spring
2	Alvand	Intermediate	8	Parsi	Spring	14	Oroom	Intermediate
3	Azar 2	Intermediate	9	Pishgam	Intermediate	15	Sirvan	Spring
4	Bahar	Spring	10	Sardari	Winter	16	Zarrin	Intermediate
5	Dena	Spring	11	Shahryar	Winter	17	Zare	Intermediate
6	DN-11	Spring	12	Shiraz	Spring			

جداسازی بیمارگر

طی فصل زراعی ۹۰- ۸۹، از ۳۰۷ مزرعهٔ گندم و جو در مناطق مختلف استان کرمانشاه در زمان ظهور سنبله، بازدید به‌عمل آمد و از گیاهان مشکوک به آلودگی که حالت خوشه سفیدی داشتند، نمونه‌برداری شد. نمونه‌های آلوده جهت کشت نسوج آلوده و جداسازی بیمارگر به آزمایشگاه منتقل شدند. نسوج آلوده ابتدا با آب شست‌وشو داده شدند تا گل‌ولای و آلودگی‌های سطحی آن‌ها حذف شوند. سپس با اتانول ۷۰ درصد ضدعفونی گردیده و قطعاتی از بافت آلوده درون تشتک‌های پتری روی محیط آب آگار حاوی ۱۰۰ پی‌پی‌ام سولفات استرپتومایسین قرار داده شد. پس از ظهور پرگنه‌های قارچی، ضمن مشاهدهٔ حاشیهٔ پرگنه در حال رشد قارچ در زیر استریومیکروسکوپ، یک نوک ریسهٔ منفرد برداشته و به محیط کشت PDA انتقال داده شد (Freeman & Ward, 2004).

شناسایی جدایه‌های بیمارگر

تشخیص مقدماتی جدایه‌های بیمارگر، با توجه به ویژگی‌های ریخت‌شناسی پرگنه، نحوهٔ رشد و شکل انشعابات میسلیوم انجام و در مرحلهٔ بعد توانایی تولید پریتیسوم و هیفوپودیوم بررسی شد. بااین‌حال به‌منظور حصول اطمینان از درستی تشخیص جدایه‌ها و شناسایی واریتهٔ بیمارگر از آغازگرهای اختصاصی شامل NS5، GGT-RP و GGA-RP (Fouly & Wilkinson, 2000) استفاده شد.

تهیهٔ مایهٔ بیمارگر

از بین ۹۷ جدایهٔ *Ggt* که از مزارع گندم و جو در استان کرمانشاه جداسازی شده و به کمک ویژگی‌های مرفولوژیکی و مولکولی شناسایی شدند، چهار جدایه که سرعت رشد و بیماری‌زایی مناسبی داشتند انتخاب شده و به‌صورت مخلوط در آزمون ارزیابی مقاومت و تحمل ارقام گندم استفاده شدند. به‌منظور تهیهٔ مایهٔ بیمارگر، بذرهای یولاف (*Avena sativa* L.) به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شدند. سپس بذرها به ارلن‌های نیم لیتری منتقل شده و در دو نوبت، طی دو روز متوالی و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجهٔ سلسیوس در دستگاه اتوکلاو ضدعفونی گردیدند. از حاشیهٔ پرگنهٔ در حال رشد هر جدایه، چند قرص هشت میلی‌متری به ظروف ارلن مایر حاوی بذرهای استریل‌شده انتقال داده شدند. ارلن‌ها به‌مدت چهار هفته در انکوباتور در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس قرار داده شدند.

آزمون ارزیابی مقاومت و تحمل ارقام

آزمون ارزیابی مقاومت و تحمل ارقام در شرایط مزرعه و در میکروپلات‌های محصور به طول یک متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر به اجرا درآمد. کاشت ارقام در فرودین ۹۱ انجام شد. در هر میکروپلات دو خط کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر ایجاد شد. در هر شیار کاشت، ابتدا ۴۵ گرم از مایهٔ بیمارگر (شامل مخلوطی از مایهٔ چهار جدایهٔ منتخب) اضافه گردید و روی آن با سه سانتی‌متر خاک مزرعه پوشانده شد. سپس ۱۰۰ عدد بذر در شیار کاشت اضافه و روی بذرها با خاک پوشانده شد. در تیمارهای شاهد به‌جای استفاده از مایهٔ بیمارگر، از ۴۵ گرم بذر اتوکلاو شدهٔ یولاف استفاده شد. پس از کاشت بذر، در اسرع وقت با استفاده از سامانهٔ قطره‌ای اقدام به آبیاری شد. در این سامانه برای هر پلات، هشت عدد قطره‌چکان تعبیه شده بود و یک‌بار در هفته اقدام به آبیاری شد. این آزمون در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. اولین ارزیابی از بیماری در اواسط خردادماه مصادف با زمان ساقه‌دهی صورت گرفت. به این منظور، یک ردیف از گیاهان هر پلات از خاک برداشت و به‌منظور ارزیابی به آزمایشگاه منتقل شدند. در این ارزیابی، وزن تر اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن تر کل، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و شدت آلودگی ریشه (درصد ریشه‌های آلوده به کل ریشه‌ها) برای هر گیاه اندازه‌گیری شد. در ارزیابی نهایی که در تاریخ ۱۲ تیرماه ۱۳۹۱ صورت گرفت، ردیف باقی‌مانده در هر کرت برداشت گردید. در این زمان که مصادف با رسیدن فیزیولوژیکی دانه بود، تعداد پنجه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، وزن خشک کل، شاخص برداشت و عملکرد در مترمربع برای گیاهان اندازه‌گیری شد. از آن‌جایی که

از بین ۱۷ رقم موردآزمون، چهار رقم به خوشه نرفتند، ارزیابی نهایی برای ۱۳ رقم انجام شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

به‌منظور ارزیابی تحمل و یا حساسیت به بیماری ژنوتیپ‌های موردپژوهش، تعداد ۱۴ شاخص تحمل و حساسیت بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش بیماری با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شدند (Amiri *et al.*, 2014). در تمامی معادله‌های زیر، Yp و Ys به‌ترتیب عملکرد بالقوهٔ هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش و تنش بیماری و $\bar{Y}p$ و $\bar{Y}s$ به‌ترتیب، میانگین عملکرد کلیهٔ ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و تنش بیماری هستند.

$$SSI = \frac{1-(Ys/Yp)}{1-\left[\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right]} \quad (۱)$$

$$TOL = Yp - Ys \quad (۲)$$

$$MP = \frac{Ys + Yp}{2} \quad (۳)$$

$$GMP = \sqrt{(Ys \times Yp)} \quad (۴)$$

$$YI = \frac{Ys}{\bar{Y}s} \quad (۵)$$

$$YSI = \frac{Ys}{Yp} \quad (۶)$$

$$HAM = \frac{2(Ys)(Yp)}{(Ys + Yp)} \quad (۷)$$

$$SDI = \frac{Yp - Ys}{Yp} \quad (۸)$$

$$DI = Ys \times \left[\frac{(Ys/Yp)}{\bar{Y}s}\right] \quad (۹)$$

$$RDI = \frac{(Ys/Yp)}{(\bar{Y}s/\bar{Y}p)} \quad (۱۰)$$

$$STI = \left(\frac{Yp}{\bar{Y}p}\right)\left(\frac{Ys}{\bar{Y}s}\right)\left(\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right) = \frac{(Yp)(Ys)}{(\bar{Y}p)^2} \quad (۱۱)$$

$$SSPI=[Yp\text{-}Ys\ /2(\bar{Y}p)]\times 100 \quad (۱۲)$$

$$MSTI = KiSTI \quad (۱۳)$$
$$K_1= (Yp)^2/(\bar{Y}p)^2 \text{ and } K_2= (Ys)^2/(\bar{Y}s)^2$$

$$SI^{1}= 1-\left[\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right] \quad (۱۴)$$

1. Stress intensity

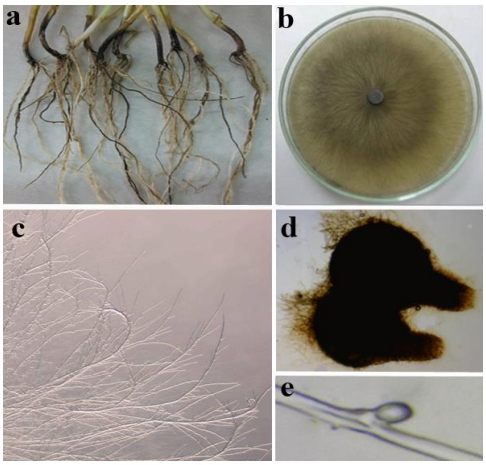
پارامتر[۲] RS از حاصل جمع میانگین رتبه با انحراف معیار رتبه به‌دست‌آمده است (Farshadfar & Elyasi, 2012).

نتایج و بحث

شناسایی جدایه‌های بیمارگر

نشانه‌های بیماری و ویژگی‌های مرفولوژیکی بیمارگر که مبنای تشخیص بیماری و شناسایی بیمارگر بوده است در شکل ۱ ارائه شده‌اند.

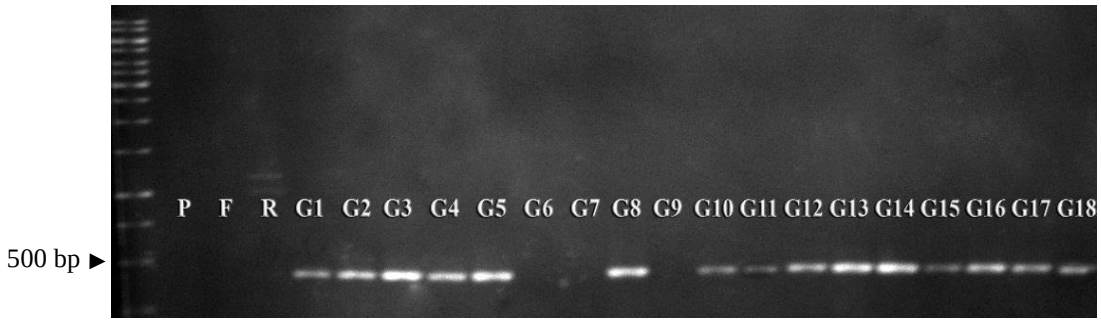
آغازگر اختصاصی NS5:GGT-RP برای ۸۴ جدایه از مجموع ۹۷ جدایه به‌دست‌آمده یک باند در محدودهٔ ۴۱۰ جفت باز تولید نمود؛ ولی در محدودهٔ ۳۰۰ جفت بازی، هیچ باندی مشاهده نشد (شکل ۲). آغازگر اختصاصی NS5:GGA-RP نیز برای همین جدایه‌ها فقط یک باند در محدودهٔ ۴۰۰ جفت باز تولید نمود. در این آزمون، برای ۱۳ جدایه، هیچ باندی مشاهده نشد. نتایج به‌دست‌آمده ضمن تأیید شناسایی مرفولوژیکی جدایه‌ها نشان دادند که جدایه‌های موردآزمون به واریتهٔ *Ggt* تعلق داشته و واریتهٔ *Gga* در بین جدایه‌های جمع‌آوری‌شده وجود ندارد.



شکل ۱. نشانه‌های بیماری و مورفولوژی *G. graminis* var *tritici* عامل بیماری پاخورهٔ گندم. a) ریشه‌های آلوده؛ b) پرگنهٔ قارچ روی محیط کشت PDA؛ c) میسلیوم؛ d) پریتسیوم؛ e) هیفوپودیوم.

Figure 1. Disease symptoms and morphology of *G. graminis* var *tritici*, the causal agent of the wheat take-all disease. a) infected roots, b) fungal colony on PDA, c) mycelium, d) perithecia, and e) hyphopodium

2. Rank sum



شکل ۲. محصول PCR حاصل از تکثیر DNA جدایه‌های منتخب *G. graminis* با استفاده از آغازگرهای اختصاصی (NS5: GGT-RP). P، F و R به‌ترتیب *Pythium aphanidermatum*، *Fusarium solani* و *Rhizoctonia solani* به‌عنوان کنترل‌های منفی هستند.

Figure 2. PCR amplification products obtained with *G. graminis*-specific primer sets NS5:GGT-RP from isolates of *G. graminis*. P, F, and R are *Pythium aphanidermatum*, *Fusarium solani*, and *Rhizoctonia solani*, respectively as negative controls

آزمون ارزیابی مقاومت و تحمل ارقام

نتیجهٔ تجزیهٔ مرکب داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفاتی که در مرحلهٔ ساقه‌دهی اندازه‌گیری شدند (۱۷ رقم) در دو محیط آلوده و غیرآلوده (شاهد) نشان داد که بین دو محیط شاهد و آلوده ازلحاظ کلیهٔ صفات تفاوت معنی‌دار وجود دارد. ژنوتیپ‌های مختلف گندم نیز ازلحاظ تمامی صفات تفاوت معنی‌دار نشان دادند. اثر متقابل محیط و ژنوتیپ برای هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که نشان‌دهندهٔ واکنش تقریباً یکسان ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است (جدول ۲).

تجزیهٔ واریانس ساده برای آلودگی ریشه در محیط آلوده به *Ggt* نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف گندم ازلحاظ این صفت با همدیگر تفاوت بسیار معنی‌دار دارند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). با توجه به اینکه اثر متقابل محیط و رقم برای کلیه صفات معنی‌دار نشد، لذا مقایسهٔ میانگین صفات برای دو محیط باهم انجام شد. مطابق مقایسهٔ میانگین در ۱۷ رقم گندم برای صفاتی که در مرحلهٔ ساقه‌دهی ارزیابی شدند، رقم بهار با ۸۵/۴۷ درصد آلودگی، بیشترین شدت آلودگی ریشه و رقم‌های اروم و پیشگام به ترتیب با ۴۶/۴۳ و ۴۷/۷۳ درصد آلودگی، کمترین شدت آلودگی ریشه را داشتند (جدول ۳). درنتیجه، رقم‌های اخیر از حساسیت نسبی کمتری نسبت به بیمارگر برخوردار هستند. بااین‌حال، این حساسیت کمتر در مدیریت بیماری چندان قابل‌اتکا نخواهد بود.

نتیجه تجزیهٔ مرکب داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفاتی که در مرحله رسیدن فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شدند (۱۳ رقم) در دو محیط آلوده و غیرآلوده (شاهد) نشان داد که بین دو محیط شاهد و آلوده از لحاظ کلیه صفات تفاوت معنی‌دار وجود دارد. ژنوتیپ‌های مختلف گندم نیز از لحاظ تمامی صفات تفاوت معنی‌دار نشان دادند. همچنین اثر متقابل محیط و ژنوتیپ برای هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد که نشان‌دهندهٔ واکنش تقریباً یکسان ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف است (جدول ۴).

با توجه به این‌که اثر متقابل محیط و رقم برای کلیه صفات معنی‌دار نشد، لذا مقایسهٔ میانگین صفات برای دو محیط باهم انجام شد. بر اساس مقایسهٔ میانگین صفات در ۱۳ رقم گندم که در مرحلهٔ رسیدگی فیزیولوژیک ارزیابی شدند، بیشترین تعداد پنجه در بوته در ارقام پیشگام، الوند و سیوند و کمترین تعداد پنجه در ارقام دنا و مرودشت مشاهده گردید (جدول ۵). بیشترین تعداد دانه در خوشه از رقم DN 11 و کمترین تعداد دانه در خوشه از ارقام شهریار و سرداری به دست آمد. همچنین بیشترین وزن هزاردانه از پیشگام، بهار و افلاک و کمترین از سیوند و سرداری به‌دست آمد. بیشترین شاخص برداشت از ارقام DN-11 و مرودشت و کمترین از رقم پیشگام به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه متعلق به ارقام افلاک و DN-11 و کمترین عملکرد دانه متعلق به رقم سرداری بود. بیشترین وزن خشک کل مربوط به ارقام افلاک، اروم، پارسی و پیشگام و کمترین وزن خشک کل مربوط به رقم شیراز بود.

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس مرکب صفات مختلف در دو محیط غیر تنش و تنش (اثر آلودگی به عامل بیماری پاخورهٔ گندم) روی ارقام گندم در مرحلهٔ ساقه‌دهی

Table 2. Combined analysis of variance of studied traits in non-stressed and stressed (inoculated by *G. graminis* var *tritici)* environments of wheat at the stem elongation stage

Source of variation	df	Mean of Squares				
		Shoot Fresh Weight	Root Fresh Weight	Whole Fresh Weight	Root Dry Weight	Shoot Dry Weight
Environment (Env.)	1	2.7179**	0.3529**	1.6594**	0.3636**	1.3398**
Replication / Env.	4	0.0106	0.0031	0.0228	0.0028	0.0084
Cultivar	16	0.0708**	0.0651**	0.0545**	0.0395**	0.0882**
Cultivar × Env.	16	0.0122	0.0127**	0.0134	0.0059	0.0209
Error	64	0.0249	0.0089	0.0189	0.0070	0.0124
Coefficient of Variation (%)	-	7.44	8.49	6.43	19.50	7.35

*, **: Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively. *، **: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین صفات ۱۷ رقم گندم در مرحلهٔ ساقه‌دهی بر اساس تجزیهٔ واریانس ساده

Table 3. Mean comparison of the traits of 17 wheat cultivars at the stem elongation stage based on simple ANOVA

Cultivar	Traits					
	Infected Roots (%)	Shoot Dry Weight	Root Dry Weight	Whole Fresh Weight	Root Fresh Weight	Shoot Fresh Weight
Aflak	69.40 ^{def}	1.63 ^{ab}	0.387 ^{cdef}	2.15 ^{abcd}	1.067 ^{cd}	2.142 ^{abcde}
Alvand	68.50 ^{def}	1.42 ^{ef}	0.490 ^{abc}	2.09 ^{abcde}	1.202 ^{ab}	2.042 ^{cde}
Azar 2	54.05 ^{abc}	1.48 ^{bcdef}	0.398 ^{cdef}	2.26 ^{ab}	1.138 ^{bcd}	2.285 ^{a}
Bahar	85.47 ^{g}	1.46 ^{cdef}	0.370 ^{def}	2.06 ^{cde}	1.080 ^{bcd}	1.953 ^{de}
Dena	73.88 ^{f}	1.42 ^{def}	0.305 ^{f}	2.02 ^{de}	0.892 ^{e}	2.060 ^{bcde}
DN-11	68.27 ^{def}	1.54 ^{bcde}	0.478 ^{abcd}	2.12 ^{abcde}	1.125 ^{bcd}	2.058 ^{bcde}
Marvdasht	62.43 ^{cde}	1.39 ^{ef}	0.317 ^{f}	1.94 ^{e}	0.863 ^{e}	1.935 ^{e}
Parsi	65.00 ^{def}	1.75 ^{a}	0.542 ^{ab}	2.24 ^{abc}	1.185 ^{abc}	2.223 ^{abc}
Pishgam	47.73 ^{a}	1.51 ^{bcdef}	0.475 ^{abcd}	2.28 ^{a}	1.202 ^{ab}	2.285 ^{a}
Sardari	59.13 ^{bcd}	1.60 ^{bc}	0.442 ^{bcde}	2.27 ^{a}	1.113 ^{bcd}	2.267 ^{ab}
Shahryar	54.25 ^{abc}	1.45 ^{def}	0.358 ^{ef}	2.10 ^{abcde}	1.025 ^{d}	2.087 ^{abcde}
Shiraz	67.85 ^{def}	1.62 ^{ab}	0.485 ^{abc}	2.16 ^{abcd}	1.105 ^{bcd}	2.153 ^{abcd}
Sivand	69.73 ^{ef}	1.56 ^{bcd}	0.450 ^{bcde}	2.12 ^{abcde}	1.135 ^{bcd}	2.135 ^{abcde}
Oroom	46.43 ^{a}	1.36 ^{f}	0.430 ^{bcde}	2.12 ^{abcde}	1.183 ^{abc}	2.107 ^{abcde}
Sirvan	64.73 ^{def}	1.76 ^{a}	0.582 ^{a}	2.26 ^{ab}	1.267 ^{a}	2.242 ^{abc}
Zarrin	62.45 ^{cde}	1.51 ^{bcdef}	0.482 ^{abcd}	2.11 ^{abcde}	1.143 ^{bcd}	2.062 ^{bcde}
Zare	51.75 ^{ab}	1.37 ^{f}	0.305 ^{f}	2.07 ^{bcde}	1.115 ^{bcd}	2.047 ^{cde}

میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at P≤0.05 based on Duncan's test.

جدول ۴. تجزیهٔ واریانس مرکب صفات مختلف در دو محیط غیر تنش و تنش (اثر آلودگی به عامل بیماری پاخوره گندم) روی ارقام گندم در مرحلهٔ رسیدن فیزیولوژیکی

Table 4. Combined analysis of variance of studied traits in non-stressed and stressed (inoculated by *G. graminis* var *tritici)* environments of wheat at physiological maturity the stage

Source of Variation	df	Mean of Squares					
		Number of Tillers per Plant	Number of Grain per Spike	Thousand Grains Weight	Harvest Index	Grain Yield	Biomass Yield
Environment	1	3.4989**	473.3541**	217.0669**	0.0251	560570.4487**	178325.5644*
Replication / Env.	4	0.0321	7.9535	6.7544	0.0063	2176.2371	13395.1031
Cultivar	12	0.6830**	138.7210**	45.8890**	0.0285**	701740.0480**	5950.2316*
Cultivar × Env.	12	0.1304	28.7692	8.2549	0.0022	4386.6779	1551.9117
Error	48	0.0975	17.0104	7.5273	0.0020	5423.6130	2658.4945
Coefficient of Variation (%)	-	15.52	15.24	11.43	14.39	20.21	22.02

*, **: Significant at 5% and 1% levels of probability, respectively. *، **: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات ۱۳ رقم گندم در مرحله رسیدن فیزیولوژیکی

Table 5. Mean comparison of the traits of 13 wheat cultivars at the stage of physiological maturity

Cultivar	Traits					
	Biomass	Grain Yield	Harvest Index	Thousand Grains Weight	Number of Grain Per Spike	Number of Tillers Per Plant
Aflak	277.30^{a}	519.95 ^{a}	0.370 ^{ab}	27.08 ^{a}	28.48 ^{bcd}	1.85 ^{def}
Alvand	221.05 ^{abc}	262.71 ^{e}	0.242 ^{ef}	21.48 ^{cde}	25.74 ^{def}	2.36 ^{ab}
Bahar	245.82 ^{ab}	373.24 ^{cd}	0.348 ^{abc}	27.16 ^{a}	27.77 ^{cde}	2.29 ^{abc}
Dena	203.30 ^{bc}	277.12 ^{e}	0.272 ^{de}	23.22 ^{bcde}	25.93 ^{def}	1.50 ^{f}
DN-11	251.88 ^{ab}	503.63 ^{ab}	0.402 ^{a}	23.51 ^{bcde}	35.85 ^{a}	1.97 ^{bcde}
Marvdasht	230.20 ^{abc}	457.30 ^{abc}	0.400 ^{a}	25.35 ^{ab}	31.34 ^{abc}	1.57 ^{ef}
Parsi	263.42 ^{ab}	482.63 ^{ab}	0.367 ^{ab}	27.34 ^{a}	33.10 ^{ab}	2.24 ^{abcd}
Pishgam	263.16 ^{ab}	420.70 ^{bc}	0.325 ^{bcd}	27.27 ^{a}	23.12 ^{defg}	2.51 ^{a}
Sardari	225.99 ^{abc}	220.48 ^{e}	0.183 ^{g}	20.04 ^{e}	21.63 ^{fg}	2.25 ^{abcd}
Shahryar	208.40 ^{abc}	295.35 ^{de}	0.280 ^{ed}	24.69 ^{abc}	19.85 ^{g}	1.90 ^{cdef}
Shiraz	164.73 ^{c}	258.21 ^{e}	0.300 ^{cd}	20.96 ^{de}	25.18 ^{def}	1.60 ^{ef}
Sivand	221.98 ^{abc}	248.73 ^{e}	0.217 ^{fg}	20.00 ^{e}	22.54 ^{efg}	2.32 ^{ab}
Oroom	226.61 ^{ab}	417.43 ^{bc}	0.318 ^{bcd}	23.92 ^{abcd}	31.40 ^{abc}	1.80 ^{ef}

میانگین‌های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means followed by similar letter(s) are not significantly different at P≤0.05 based on Duncan's test.

شاخص‌های تحمل به بیماری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین عملکرد دانهٔ همهٔ ژنوتیپ‌ها در تیمار شاهد و مایه‌زنی شده به‌ترتیب برابر ۴۴۹/۲۰ و ۲۷۹/۶۵ گرم در مترمربع به‌دست آمد. این بدان معنی است که عملکرد دانه در اثر تنش بیماری ۳۷/۷۴ درصد کاهش یافت و بنابراین شدت تنش محاسبه‌شده معادل ۳۸ درصد بود.

بر اساس شاخص حساسیت به تنش[1] (SSI) ارقام مرودشت، اروم و الوند به ترتیب با ۰/۵۶، ۰/۶۴ و ۰/۷۱ متحمل‌ترین و ارقام سرداری (۱/۸۲)، سیوند (۱/۷۰) و شیراز (۱/۵۰) حساس‌ترین ارقام بودند (جدول ۶).

کمترین مقدار شاخص تحمل[2] (TOL) متعلق به ارقام الوند (۸۱)، دنا (۱۰۳) و مرودشت (۱۰۸) و بیشترین مقدار متعلق به ارقام پیشگام (۲۳۸)، سیوند (۲۳۶) و سرداری (۲۳۱) بود. مقادیر پایین TOL نشان‌دهندهٔ تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است، بنابراین رقم مرودشت متحمل‌ترین رقم بر اساس شاخص‌های (SSI) و (TOL) شناخته شد. ازآنجاکه انتخاب بر اساس شاخص (TOL) باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که دارای عملکرد پایینی در محیط بدون تنش هستند (Fernandez, 1992)، لذا نمی‌تواند به‌تنهایی شاخص مناسبی جهت گزینش ارقام باشد. انتخاب بر اساس شاخص SSI نیز باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که متحمل به تنش هستند، اما پتانسیل عملکرد پایینی دارند (Fernandez, 1992; Schneider *et al.*, 1997)؛ بنابراین این شاخص نیز قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند، نخواهد بود.

جدول ۶. شاخص‌های تحمل به بیماری در ۱۳ رقم گندم بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط آلوده و غیر آلوده

Table 6. Tolerance indices of 13 wheat genotypes based on grain yield under stressed and non-stressed conditions

Cultivar	Yp (g/m^2)		Ys (g/m^2)		Variations percentage		SSI		TOL (g/m^2)		MP (g/m^2)		GMP (g/m^2)		STI		YI		YSI	
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank
Aflak	614.45	1	425.45	1	30.78	5	0.81	5	189	8	520.0	1	511.29	1	1.296	1	1.521	1	0.692	5
Alvand	303.43	13	221.98	9	26.84	3	0.71	3	81	1	262.7	10	259.53	10	0.334	10	0.794	9	0.732	3
Bahar	445.68	7	300.80	7	32.51	8	0.86	8	145	5	373.2	7	366.14	7	0.664	7	1.076	7	0.675	8
Dena	328.83	12	225.40	8	31.45	7	0.83	7	103	2	277.1	9	272.25	9	0.367	9	0.806	8	0.685	7
DN-11	597.27	2	410.00	2	31.35	6	0.83	6	187	7	503.6	2	494.85	2	1.214	2	1.466	2	0.686	6
Marvdasht	511.45	5	403.15	3	21.18	1	0.56	1	108	3	457.3	4	454.08	4	1.022	4	1.442	3	0.788	1
Parsi	566.60	3	398.67	4	29.64	4	0.79	4	168	6	482.6	3	475.28	3	1.119	3	1.426	4	0.704	4
Pishgam	539.53	4	301.87	6	44.05	9	1.17	9	238	13	420.7	5	403.57	6	0.807	6	1.079	6	0.560	9
Sardari	335.87	11	105.08	13	68.71	13	1.82	13	231	11	220.5	13	187.86	13	0.175	13	0.376	13	0.313	13
Shahryar	395.63	8	195.07	10	50.69	10	1.34	10	201	9	295.4	8	277.80	8	0.382	8	0.698	10	0.493	10
Shiraz	359.80	10	156.62	11	56.47	11	1.50	11	203	10	258.2	11	237.39	11	0.279	11	0.560	11	0.435	11
Sivand	366.50	9	130.97	12	64.26	12	1.70	12	236	12	248.7	12	219.09	12	0.238	12	0.468	12	0.357	12
Oroom	474.50	6	360.35	5	24.06	2	0.64	2	114	4	417.4	6	413.50	5	0.847	5	1.289	5	0.759	2

ادامه جدول ۶. شاخص‌های تحمل به بیماری در ۱۳ رقم گندم بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط آلوده و غیر آلوده

Continued table 6. Tolerance indices of 13 wheat genotypes based on grain yield under stressed and non-stressed conditions

Cultivar	HAM (g/m^2)		SDI		DI		RDI		SSPI		K_1STI		K_2STI		Rank Mean	Standard Deviation of Rank	Rank Sum
	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank	Value	Rank			
Aflak	502.77	1	0.308	5	1.053	2	1.11	5	21.038	8	2.424	1	2.999	1	3.06	2.59	5.64
Alvand	256.39	10	0.268	3	0.581	8	1.18	3	9.066	1	0.152	12	0.210	9	6.88	4.04	10.93
Bahar	359.18	7	0.325	8	0.726	6	1.08	8	16.127	5	0.654	7	0.769	7	7.00	0.94	7.94
Dena	267.46	8	0.315	7	0.552	9	1.10	7	11.513	2	0.197	9	0.239	8	7.53	2.43	9.96
DN-11	486.23	2	0.314	6	1.006	3	1.10	6	20.845	7	2.146	2	2.609	2	3.82	2.16	5.98
Marvdasht	450.89	4	0.212	1	1.136	1	1.27	1	12.055	3	1.325	4	2.124	4	2.76	1.44	4.20
Parsi	468.03	3	0.296	4	1.003	4	1.13	4	18.692	6	1.781	3	2.275	3	3.82	0.95	4.77
Pishgam	387.14	6	0.440	9	0.604	7	0.90	9	26.454	13	1.164	5	0.941	6	7.53	2.62	10.15
Sardari	160.08	13	0.687	13	0.118	13	0.50	13	25.689	11	0.098	13	0.025	13	12.65	0.79	13.43
Shahryar	261.30	9	0.507	10	0.344	10	0.79	10	22.324	9	0.297	8	0.186	10	9.24	0.90	10.14
Shiraz	218.24	11	0.565	11	0.244	11	0.70	11	22.616	10	0.179	10	0.088	11	10.76	0.44	11.20
Sivand	192.98	12	0.643	12	0.167	12	0.57	12	26.217	12	0.158	11	0.052	12	11.76	0.75	12.52
Oroom	409.62	5	0.241	2	0.979	5	1.22	2	12.706	4	0.946	6	1.407	5	4.18	1.55	5.73

1. Stress Susceptibility index
2. Tolerance

نتایج همچنین نشان دادند که ارقام افلاک، DN-11 و پارسی بر اساس شاخص‌های MP[1]، GMP[2]، STI[3]، YI[4] و HAM[5] که مقادیر بالای آن‌ها حاکی از تحمل به تنش است، متحمل‌ترین و ارقام سرداری، سیوند و شیراز حساس‌ترین ارقام به تنش بیماری ناشی از عامل پاخوره هستند. بر اساس شاخص YSI[6]، ارقام مرودشت، اروم و الوند به‌عنوان متحمل‌ترین و ارقام سرداری، سیوند و شیراز به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. بر اساس شاخص SDI[7]، ارقام مرودشت، اروم و الوند عنوان متحمل‌ترین و ارقام سرداری، سیوند و شیراز عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها را به خود اختصاص دادند. بیشترین شاخص DI[8] متعلق به ارقام مرودشت، افلاک و DN-11 (متحمل‌ترین) و کمترین شاخص DI متعلق به ارقام سرداری، سیوند و شیراز (حساس‌ترین) بود. بر اساس شاخص RDI[9] ارقام مرودشت، اروم و الوند متحمل‌ترین و ارقام سرداری، سیوند و شیراز حساس‌ترین ارقام در میان ارقام موردپژوهش به بیماری پاخوره بودند. بر اساس شاخص درصد حساسیت به تنش[10] (SSPI)، ارقام الوند، دنا و مرودشت متحمل‌ترین و ارقام پیشگام، سیوند و سرداری حساس‌ترین ارقام هستند. بالاترین مقدار MSTI[11] شامل K_1STI و K_2STI متعلق به ارقام افلاک، DN-11 و پارسی (متحمل‌ترین) و پایین‌ترین مقدار آن متعلق به ارقام سرداری، سیوند و شیراز (حساس‌ترین) بودند.

در بین غلات، گندم به‌عنوان حساس‌ترین میزبان برای عامل بیماری پاخوره گزارش شده است (Rothrock & Langdale, 1989; Scott, 1981). هولدن (Holden, 1975) نشان داد که میزان مرگ سلول‌های کورتکس در قسمت‌های پیرتر ریشه‌های اولیه در گندم ۶۵ درصد و در جو ۴۱ درصد است که به عقیده Deacon & Mitchell (1985) این یک پدیدهٔ برنامه‌ریزی‌شده است که روند آن در گندم سریع‌تر از جو و در جو سریع‌تر از چاودار و یولاف است. پدیدهٔ مرگ سلول‌های کورتکس به‌دلیل کاهش مقاومت میزبان در کورتکس و آزادسازی و انتقال مواد غذایی به محل‌های آلودگی (لایه سلول‌های زیرین کورتکس ریشه) به سود بیمارگر است. در این پژوهش ارقام مختلف گندم در شرایط مزرعه از لحاظ کاهش مقدار صفات اندازه‌گیری شده در تیمارها نسبت به شاهد تفاوت بسیار معنی‌دار نشان دادند. تفاوت در حساسیت ارقام گندم نسبت به بیماری پاخوره گندم مربوط به اختلاف در ضخامت دیواره سلول‌های کورتکس ریشه‌های اولیه در گیاهچه‌های گندم گزارش شده است (Penrose, 1987)، هرچند این اختلاف جزئی بوده است. در پژوهشی که روی ۱۲۰۰ واریته گندم انجام شد، تنها ۳۰ واریته حساسیت کمتری نسبت به بیماری پاخوره با عامل Ggt داشتند (Mattsson, 1973). در آلمان غربال بیش از ۲۰۰ گونه و واریته در جنس *Triticum* نشان داد که تمام لاین‌ها به‌جز چند لاین در گونه *T. monococcum* بسیار حساس بودند (Mielke, 1974). بررسی‌های مقاومت نسبت به *Ggt* در استرالیا نشان داد که مقدار نفوذ یک جدایه واحد از *Ggt* در بافت آوندی ارقام مختلف گندم متفاوت است (Penrose, 1985). پژوهش‌های Nilsson (1969) روی بیش از ۱۰۰ واریته گندم و جو در شرایط آلودگی طبیعی و شدید پاخوره نشان داد که بعضی واریته‌های گندم به‌صورت تکرارپذیر حساسیت کمتری نسبت به بیماری داشتند و بر اساس یافته‌های این محقق مقاوم‌ترین واریته‌ها، ریشه‌های بیشتری در قسمت تاج داشتند. مقایسه دو گروه از ارقام گندم با دانهٔ سخت و با دانهٔ نرم نشان داد که در واریته‌هایی با دانهٔ سخت، راندمان کل محصول تحت تأثیر بیماری پاخوره کمتر از واریته‌هایی با دانهٔ نرم کاهش می‌یابد (Huber & McCay-Buis, 1993). براساس نظر این محققین، ارقامی با دانه سخت نیاز غذایی کمتری در

1. Mean Productivity
2. Geometric Mean Productivity
3. Stress Tolerance Index
4. Yield Index
5. Harmonic Mean
6. Yield Stability index
7. Sensitivity Drought Index
8. Drought Resistance Index
9. Relative Drought Index
10. Stress Susceptibility Percentage Index
11. Modified Stress Tolerance Index

مقایسه با ارقام دانه نرم از محیط ریشه دارند و به این دلیل کمتر تحت تأثیر پاخوره آسیب می‌بینند. بر اساس پژوهش‌های Rengel *et al.* (1993)، در کشور استرالیا گیاهان گندمی که منگنز کافی دریافت می‌کنند، نسبت به بیماری پاخوره مقاوم‌تر هستند. تفسیر این ارتباط چنین است که گیاهانی که دارای منگنز کافی هستند توانایی بیشتری در تبدیل ترکیبات فنلی به لیگنین دارند (Rengel, 1994). چنانکه در منابع مختلف گزارش شده است مقاومت قابل اتکایی در ارقام رایج گندم نسبت به بیماری پاخوره وجود ندارد (Rothrock & Langdale, 1989; Scott, 1981). ازاین‌رو، در مدیریت بیماری باید تحمل ارقام و استفاده بهینه از روش‌های زراعی مدنظر قرار گیرد.

Rosielle & Hamblin (1981) شاخص تحمل (TOL) را به‌عنوان میزان تفاوت عملکرد دانه و شاخص میانگین بهره‌وری (MP) را به‌عنوان میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش معرفی کردند. مقادیر پایین TOL نشان‌دهندهٔ تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است. ازآنجاکه شدت تنش ممکن است در آزمایش‌های مختلف، متفاوت باشد، فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) را معرفی نمود. این شاخص حساسیت کمتری به اختلاف عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارد، بنابراین کمتر تحت تأثیر عملکرد نسبتاً بالا در یکی از محیط‌ها قرار می‌گیرد و معیار مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های با تولید مطلوب در هر دو محیط تنش و بدون تنش است. به‌عبارت‌دیگر ژنوتیپ‌های با مقادیر بالایی از GMP، ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند؛ بنابراین این شاخص در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. در همین راستا، فرناندز، شاخص STI را بر اساس GMP ارائه نمود. ژنوتیپی که مقدار STI آن بالاتر است، تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد بالایی دارد. این شاخص قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند) از سایر گروه‌ها است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص STI بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و نیز دارای عملکرد بالا است (Fernandez, 1992). Fischer & Maurer (1978) شاخصی به نام شاخص حساسیت به تنش (SSI) را پیشنهاد دادند که بر اساس آن ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از واحد، به تنش متحمل هستند و بنابراین کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط تنش کمتر از کاهش عملکرد متوسط کل ژنوتیپ‌ها است. میانگین هارمونیک (HAM) نیز از شاخص‌هایی است که در ارزیابی تحمل به تنش استفاده می‌شود. ژنوتیپ‌هایی با مقادیر بالای این شاخص و مقادیر پایین شاخص حساسیت به خشکی (SDI) ژنوتیپ‌های مطلوب هستمد. شاخص عملکرد (YI) که از نسبت عملکرد ژنوتیپ بر میانگین عملکرد در شرایط تنش حاصل می‌شود، توسط Gavuzzi et al. (1997) معرفی شد. شاخص پایداری عملکرد (YSI) نیز عملکرد در شرایط تنش در یک ژنوتیپ را وابسته به عملکرد آن ژنوتیپ در شرایط بدون تنش ارزیابی می‌کند. این شاخص می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش باشد، لذا انتظار می‌رود که ارقامی با YSI بالاتر در هر دو شرایط عملکرد زیادتری داشته باشند (Bouslama & Schapaugh, 1984). Lan (1998) یک شاخص جدید مقاومت به تنش به‌نام DI را معرفی کردند که منجر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش می‌گردد. شاخص خشکی نسبی (RDI) نیز از شاخص‌هایی است که در بررسی تحمل به خشکی به کار می‌رود (Fischer & Maurer, 1978). شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI) قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل از ژنوتیپ‌های غیر متحمل است (Moosavi et al., 2008). به‌منظور کارایی بیشتر شاخص STI، شاخص تحمل تنش تغییریافته (MSTI)[1] شامل K1STI و K2STI معرفی شد که به ترتیب موجب گزینش در شرایط بدون تنش و تنش می‌گرددند (Farshadfar & Sutka, 2002).

1. Modified Stress Tolerance Index

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، به‌منظور بررسی مقاومت ارقام گندم نسبت به عامل بیماری پاخوره، ۱۷ رقم رایج در استان کرمانشاه ارزیابی شدند. محاسبه و ارزیابی شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت به تنش (جدول ۶) نشان داد که شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به بیماری فقط بر اساس یک شاخص، گاهی باعث ایجاد نتایج ضدونقیض می‌شود؛ بنابراین به‌منظور تعیین ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس همه شاخص‌ها، پارامترهای میانگین رتبه، انحراف معیار رتبه و RS محاسبه و بر اساس این پارامترها، ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند. بر اساس شاخص رتبه که دربرگیرندهٔ کلیهٔ شاخص‌ها است، ارقام مرودشت، پارسی و افلاک به‌عنوان ارقام متحمل شناخته شدند. همچنین ارقام سرداری، سیوند، شیراز و الوند به‌عنوان ارقام حساس شناخته شدند. به‌این‌ترتیب انتخاب رقم متحمل در کنار سایر روش‌ها مانند رعایت تناوب زراعی، مدیریت آبیاری، اصلاح pH خاک و کنترل بیولوژیکی می‌تواند جزئی از مدیریت کنترل بیماری باشند.

سپاسگزاری

از همکاری آقای مهندس رضا امیری در تجزیه آماری داده‌های آزمون ارزیابی تحمل به بیماری و تعیین شاخص‌های تحمل به تنش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Amiri, R., Bahraminejad, S., Sasani, S. & Ghobadi, M. (2014). Genetic evaluation of 80 irrigated bread wheat genotypes for drought tolerance indices. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20, 101-111.
2. Bouslama, M. & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat & drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-937.
3. Cook, J. (2003). Take-all of wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62, 73-86.
4. Deacon, J. W. & Mitchell, R. T. (1985). Comparison of rates of natural senescence of the root cortex of wheat (with and without mildew infection), barley, oats and rye. *Plant and Soil*, 84, 129-131.
5. Farshadfar, E. & Elyasi, P. (2012). Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. *European Journal of Experimental Biology*, 2, 577-584.
6. Farshadfar, E. & Sutka, J. (2002). Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungaricae*, 50(4), 411-416.
7. Fassihiani, A. & Zare, L. (2010). Evaluation of barley cultivars to take-all disease of wheat (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*). *Irananian Journal of Plant Pathology*, 46, 37-39. (in Farsi)
8. Fernandez, G. C. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of *the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress*, pp. 257-270.
9. Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
10. Fouly, H. & Wilkinson, H. (2000). Detection of *Gaeumannomyces graminis* varieties using polymerase chain reaction with variety-specific primers. *Plant Disease*, 84, 947-951.
11. Fouly, H. M., Wilkinson, H. T. & Domier, L. L. (1996). Use of random amplified polymorphic DNA (RAPD) for identification of *Gaeumannomyces* species. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 703-710.
12. Freeman, J. & Ward, E. (2004). *Gaeumannomyces graminis*, the take-all fungus and its relatives. *Molecular Plant Pathology*, 5, 235-252.
13. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L. & Borghi, B. (1997). Evaluation of field a laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, 523-531.
14. Gutteridge, R. J., Zhang, J. P., Jenkyn, J. F. & Bateman, G. L. (2005). Survival and multiplication of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (the wheat take-all fungus) and related fungi on different wild and cultivated grasses. *Applied Soil Ecology*, 29, 143-154.
15. Holden, J. (1975). Use of nuclear staining to assess rates of cell death in cortices of cereal roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 7, 333-334.
16. Huber, D. & McCay-Buis, T. (1993). A multiple component analysis of the take-all disease of cereals. *Plant Disease* (USA).
17. Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 7, 85-87.
18. Liatukas, Z., Ruzgas, V. & Razbadauskiene, K. (2010). Take-all resistance of Lithuanian winter wheat breeding lines. *Agron Res*, 8, 653-662.

19. Liu, C., Xue, Y., Shang, H. & Zhang, J. (2001). Resistance of oat to 'take-all'causing fungus (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*). *Chinese Science Bulletin*, 46, 1817-1819.
20. Mathre, D. M. (1992). *Gaeumannomyces* pp. 60-63 In: Singleton, L., Millail, L. and Rush, C. M. (Eds.), Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi. APS press
21. Mattsson, B. (1973). Screening of varieties for resistance to the take-all fungus and the transference of resistance to Swedish material. *Sveriges Utsadesforenings Tidskrift*, 83, 281-297.
22. Mielke, H. (1974). Studies on the susceptibility of different cereal species to the take-all pathogen, *Ophiobolus graminis* Sacc. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt fur Land-und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem 160: 61pp.
23. Moosavi, S. S, Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., Pourshahbazi, A. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12, 165-178.
24. Nilsson, H. E. (1969). *Studies of root and foot rot diseases of cereals and grasses: I. On resistance to Ophiobolus graminis Sacc*. Almqvist & Wiksells Boktrycker ab.
25. Penrose, L. (1995). Two wheat genotypes differ in root disease due to *Gaeumannomyces graminis* without interaction with site. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 133-138.
26. Penrose, L. (1985). Evidence for resistance in wheat cultivars grown in sand culture to the take-all pathogen, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Annals of Applied Biology*, 107, 105-108.
27. Penrose, L. (1987). Thickening and browning of cortical cell walls in seminal roots of wheat seedlings infected with *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Annals of Applied Biolog*, 110, 463-470.
28. Rengel, Z. (1994). Time-course of Biosynthesis of Phenolics and Lignin in Roots of Wheat Genotypes Differing in Manganese Efficiency and Resistance to Take-all Fungus. *Annals of Botany*, 74, 471-477.
29. Rengel, Z., Graham, R. & Pedler, J. (1993). Manganese nutrition and accumulation of phenolics and lignin as related to differential resistance of wheat genotypes to the take-all fungus. *Plant and Soil*, 151, 255-263.
30. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943-946.
31. Rothrock, C. & Langdale, G. (1989). Influence of nonhost summer crops on take-all in double-cropped winter wheat. *Plant Disease*, 73, 130-132.
32. Rothrock, C. S. (1988). Effect of chemical and biological treatments on take-all of winter wheat. *Crop Protection*, 7, 20-24.
33. Schneider, K. A., Brothers, M. E. & Kelly, J. D. (1997). Marker-assisted selection to improve drought resistance in common bean. *Crop Science*, 37, 51-60.
34. Scott, P. (1981). Variation in host susceptibility. *Biology and Control of Take-all*, 219-236.
35. Solel, Z., Ben-Ze'ev, I. S. & Dori, S. (1990). Features of Resistance to Take-all Disease in Cereal Species Evaluated by Laboratory Assays. *Journal of Phytopathology*, 130, 219-224.
36. Walker, J. (1972). Type studies on *Gaeumannomyces graminis* and related fungi. *Transactions of the British Mycological Society*, 58, 427-IN410.