Iranian Journal of Plant Protection Science
Vol 49, No 1, Spring & Summer 2018 (41-55)
DOI: 10.22059/ijpps.2018.227550.1006763

دانش گیاهپزشکی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷ (ص ۵۵-۴۱)

بررسی مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش سال ۱۳۹۲ اقلیم گرم و خشک جنوب کشور در شرایط مزرعه و گلخانه

علی ملیحی‌پور[۱*]، محمدعلی دهقان[۲]، کمال شهبازی[۳] و محسن اسماعیل‌زاده مقدم[٤]
۱ و ٤. استادیار و دانشیار، بخش تحقیقات غلات، مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، استان البرز، ایران
۲. مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، استان گلستان، ایران
۳. مربی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس‌آباد، استان اردبیل، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲٤ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۲)

چکیده

بیماری بلایت فوزاریومی سنبله ناشی از گونه‌های مختلف قارچ *Fusarium* به‌ویژه *Fusarium graminearum*، یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در اقلیم گرم و مرطوب کشور است. این بیماری از اقلیم گرم و خشک جنوب کشور نیز گزارش شده و در چند مورد آسیب و زیان آن به گندم قابل توجه بوده است. در این بررسی، ۳۲ نژادگان (ژنوتیپ) گندم مربوط به آزمایش مقایسه عملکرد امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در سال ۱۳۹۲ (ERWYT-S-1392) با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری، طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳در شرایط مزرعه در دو منطقهٔ گرگان و مغان و نیز در شرایط گلخانه نسبت به بیماری آزمایش شدند. تجزیهٔ مرکب داده‌های مربوط به میزان وقوع، شدت و شاخص بیماری و میزان آلودگی دانه در شرایط مزرعه نشان داد، برای هر چهار صفت یادشده، تفاوت معنی‌داری بین این ژنوتیپ‌ها وجود دارد. همچنین، تجزیهٔ سادهٔ داده‌های مربوط به پیشرفت بیماری در سنبله (شدت بیماری) در گلخانه نشان داد، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود دارد. نتایج این تحقیق نشان داد، از بین ۳۲ ژنوتیپ مورد آزمایش، دو رگهٔ (لاین) آزمایشی S-92-6 و S-92-7 به علت پایین بودن همهٔ متغیرهای مرتبط با مقاومت به بیماری در شرایط مزرعه و گلخانه و احتمال وجود سه نوع مقاومت I، II و IV در آن‌ها می‌توانند برای جایگزینی رقم‌های قدیمی‌تر در اقلیم گرم و خشک در نظر گرفته شوند. در اولویت بعد، سه لاین S-92-2، S-92-3 و S-92-4 قرار داشتند که از بیشتر جنبه‌ها مقاومت مطلوبی در برابر بیماری داشتند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم گرم و خشک جنوب، بلایت فوزاریومی سنبله، گندم، مقاومت، *Fusarium graminearum*.

Resistance to fusarium head blight (FHB) among the 2013 elite wheat genotypes of the south warm and dry zone in Iran under field and greenhouse conditions

Ali Malihipour[1*], Mohammad Ali Dehghan[2], Kamal Shahbazi[3] and Mohsen Esmaeilzadeh Moghaddam[4]
1, 4. Assistant Professor and Associate Professor, Cereal Research Department, Seed & Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Alborz, Iran
2. Instructor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Golestan, Iran
3. Instructor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Parsabad, Ardabil, Iran
(Received: Feb. 12, 2017 - Accepted: Jun. 12, 2018)

ABSTRACT

Fusarium head blight (FHB), caused mainly by *Fusarium graminearum*, is one of the most important diseases of wheat in the North warm and humid zone of Iran. The disease has also been reported from the South warm and dry zone of Iran, and in some cases there has been considerable damage from the disease in this zone. For the purpose of identifying FHB-resistant wheat genotypes, the reactions of 32 genotypes of the Elite Regional Wheat Yield Trial of the South warm and dry zone in 1392 (ERWYT-S-1392) to FHB were determined under field conditions in two locations (Gorgan and Moghan) for two successive growing years (2013-14 and 2014-15). The genotypes were also tested for FHB resistance under greenhouse conditions. Results of combined analysis of variance for several datasets including disease incidence, severity, index and Fusarium-damaged kernels (FDK) from field experiments showed significant differences among the genotypes for all traits. Significant differences were also observed among the genotypes tested under greenhouse conditions. Among the 32 genotypes examined, S-92-6 and S-92-7 were the most resistant genotypes to FHB under field and greenhouse conditions. They seemed to have three types of resistance including type I, type II and type IV. These genotypes may be recommended as candidates to replace the older cultivars in the South wam and dry zone in the term of resistance to FHB. In the second priority, three genotypes of S-92-2, S-92-3 and S-92-4 with an optimal level of resistance to FHB may also be recommended.

Keywords: *Fusarium graminearum*, Fusarium head blight (FHB), resistance, south warm and dry zone, Wheat.

* Corresponding author E-mail: a.malihipour@areeo.ac.ir

مقدمه

گندم مهم‌ترین محصول غذایی ایران بوده و نقش بسیار مهمی در تغذیهٔ مردم دارد. گیاه گندم هر ساله در نتیجهٔ ابتلا به بیماری‌های مختلف به‌ویژه بیماری‌های قارچی متحمل خسارت زیادی می‌شود. یکی از مهم‌ترین این بیماری‌ها، بیماری بلایت فوزاریومی سنبله (Fusarium head blight) است که توسط گونه‌های مختلف قارچ *Fusarium* به‌ویژه گونهٔ *Fusarium graminearum* ایجاد می‌شود. این بیماری که در مناطق مختلف جهان به‌ویژه در اقلیم گرم و مرطوب شایع است با کاهش عملکرد دانه و پایین آوردن کیفیت محصول باعث خسارت به گندم می‌شود (Bai & Shaner, 2004). همچنین، دانه‌های گندم آلوده به بیماری ممکن است آلوده به مقدار زیادی از قارچ‌زهر (مایکوتوکسین)ها شوند که توسط قارچ‌های عامل بیماری تولید می‌شوند و می‌توانند تهدیدی جدی برای سلامت انسان و دام و بهداشت مواد غذایی به‌شمار روند (Bai & Shaner, 1994; McMullen *et al*., 1997; Parry *et al*., 1995; Sutton, 1982).

طی سه دههٔ اخیر همه‌گیری‌های گسترده‌ای از این بیماری در مناطق مختلف جهان از جمله در ایالات‌متحدهٔ امریکا (Bolanos-Carriel *et al*., 2016)، کانادا (Gilbert & Haber, 2013) و چین (Chen, 2016) روی داده است. با اینکه این بیماری از زمان‌های دور به‌طور پراکنده در ایران وجود داشته است، ولی از اوایل دهه ۱۳۶۰ آلودگی زیادی از آن به‌ویژه در استان‌های گلستان و مازندران مشاهده شده است (Bamdadian & Torabi, 1983). از اوایل دههٔ ۱۳۷۰ تاکنون، علاوه بر مناطق شمالی کشور و منطقهٔ مغان که بلایت فوزاریومی سنبله به‌صورت بوم‌گیر (Endemic) در این مناطق وجود داشته و هرچند سال یک‌بار به‌صورت همه‌گیر (Epidemic) در آمده است، بیماری به‌طور غیرمعمول در سال ۱۳۷۵ در برخی مناطق استان هرمزگان و در سال ۱۳۷۶ در برخی مزارع گندم جیرفت واقع در استان کرمان خسارت وارد کرد (A. Malihipour, *Unpublished data*). همچنین، این بیماری که در سال ۱۳۸۲ از استان خوزستان گزارش شده بود (Moosawi-Jorf, 2003)، در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌طور محدود در مناطق شوش و دزفول از این استان روی گندم دوروم رقم "بهرنگ" ظاهر شد (M. Dalvand, *Pers. commun.*). این بیماری در صورت مساعد بودن شرایط جوی می‌تواند در هر منطقهٔ دیگر از کشور نیز خسارت وارد کند. آخرین گزارش از همه‌گیری بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در ایران به سال ۱۳۹۰ در منطقه مغان برمی‌گردد که در آن خسارت قابل توجهی به رقم‌های حساس گندم وارد شد (M. Vahabzadeh, *Pers. commun.*). درهرحال، این بیماری همچنان در نواحی شمالی ایران و منطقهٔ مغان اهمیت داشته و خطر همه‌گیری این بیماری در این مناطق وجود دارد.

بهترین روش برای کنترل بیماری بلایت فوزاریومی سنبله استفاده از رقم‌های مقاوم به بیماری است (Yang *et al*., 2005). برای نیل به این هدف، قبل از هر چیز لازم است رقم‌ها و رگه (لاین)های مختلف گندم از نظر مقاومت به این بیماری و شناسایی منابع مقاومت در بین آن‌ها بررسی و ارزیابی شوند. تفاوت در مقاومت/حساسیت رقم‌های گندم نسبت به این بیماری اولین بار توسط آرتور در امریکا گزارش شد (Arthur, 1891). از آن زمان تاکنون تلاش‌های زیادی برای یافتن منابع مقاومت به بیماری جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی صورت گرفته است. منابع مقاومت معروف و شناخته‌شده برای این بیماری شامل سومای ۳ (Sumai 3) و مشتقات آن از چین، نوبوکابوزو-کوموجی (Nobeokabouzu-komugi)، شینچوناگا (Shinchunaga)، نیوبای (Nyu Bai) و مشتقات آن‌ها از ژاپن و فرونتانا (Frontana) و انکروزیلهادا (Encruzilhada) از برزیل هستند (Bai & Shaner, 2004). تعدادی از خویشاوندان وحشی گندم نیز به‌عنوان منابع مقاومت به بیماری شناسایی شده‌اند (Ban, 1997; Buerstmayr *et al*., 2003; Chen *et al*., 2001; Liu *et al*., 2000; Shen *et al*., 2004; Wan *et al*., 1997a; Wan *et al*., 1997b). از رقم‌های تجاری گندم، سه رقم گندم زمستانهٔ اروپایی آرینا (Arina)، رنان (Renan) و پراگ-۸ (Praag-8) به‌عنوان نژادگان (ژنوتیپ)های مقاوم به بیماری گزارش شده‌اند (Gervais *et al*., 2003; Ruckenbauer *et al*., 2001;

Snijders, 1990). در ایالات متحدهٔ امریکا، دو رقم گندم زمستانهٔ ارنی (Ernie) و فریدم (Freedom) در شرایط مزرعه درصد وقوع و شدت کمی از بیماری از خود نشان داده‌اند (Rudd *et al*., 2001). همچنین، گفته می‌شود که مقاومت به بیماری در چندین رقم گندم نسبتاً جدید معرفی شده در امریکا از جمله در گندم زمستانهٔ رقم ترومن (Truman) (McKendry *et al*., 2005) و دو رقم گندم بهارهٔ استیل-ND (Steele-ND) (Mergoum *et al*., 2005) و گلن (Glenn) (Mergoum *et al*., 2006) وجود داشته باشد. علاوه بر این‌ها، در سال ۲۰۰۹ یک رقم گندم زمستانه با نام شنگسوان ۶ (Shengxuan 6) در چین معرفی شده است که علاوه بر عملکرد بالا، مقاومت بسیار خوبی در برابر بیماری بلایت فوزاریومی سنبله دارد (Cai & Lu, 2016).

از سه دههٔ پیش تاکنون با ظهور دوبارهٔ بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در مناطق مختلف جهان، ده‌ها هزار ژنوتیپ گندم به‌منظور یافتن منابع مقاومت به این بیماری و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی گندم ارزیابی شده‌اند. در ایران نیز از اوایل دههٔ ۱۳۷۰ شمسی تاکنون هزاران ژنوتیپ گندم از نظر مقاومت به این بیماری بررسی شده‌اند (Etebarian & Torabi, 1996; Foroutan *et al*., 1995; Golzar, 1995; Malihipour *et al*., 2000; Sepahvand *et al*., 2009). در بررسی جدیدتر، Dehghan & Ebrahimnejad (2016)، در ارزیابی مقاومت و میزان خسارت‌زایی بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در ۶۰ ژنوتیپ پیشرفته و امیدبخش گندم اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور، اعلام کردند که ژنوتیپ‌هایی که در شجرهٔ آن‌ها والدینی چون شانگهای (Shanghai)، ونگشویبای (Wangshuibai)، کاوز (Kauz)، میلان (Milan) یا بابکس (Babax) وجود داشت، از نظر عملکرد محصول و شاخص بیماری برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. همچنین Malihipour *et al*. (2017) در بررسی مقاومت بیست ژنوتیپ گندم مربوط به آزمایش مقایسه عملکرد یکنواخت امیدبخش اقلیم گرم و مرطوب شمال در سال ۱۳۹۱ (ERWYT-N-91) نسبت به این بیماری، نشان دادند که رقم گندم مروارید به همراه دو لاین آزمایشی N-91-15 و N-91-3 از نظر میزان وقوع، شدت و شاخص بیماری مقاومت بسیار بالایی در برابر این بیماری برخوردار است.

با توجه به خطر شیوع بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در مناطقی از اقلیم گرم و خشک جنوب کشور به‌ویژه استان خوزستان، از سال‌ها قبل تاکنون ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش مربوط به برنامهٔ اصلاح گندم این اقلیم نسبت به این بیماری، در دستور کار بخش تحقیقات غلات مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر قرار گرفته است. در راستای این هدف، ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش این اقلیم در سال ۱۳۹۲ (ERWYT-S-92) در شرایط مزرعه و گلخانه نسبت به این بیماری بررسی و ارزیابی شدند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، ژنوتیپ‌های با مقاومت مطلوب در برابر بیماری جهت معرفی در سطح اقلیم گرم و خشک جنوب پیشنهاد خواهند شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

در این تحقیق، ۳۲ ژنوتیپ گندم مربوط به آزمایش مقایسهٔ عملکرد امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب کشور در سال ۱۳۹۲ (ERWYT-S-92) به همراه شاهدهای مقاوم (سومای ۳) و حساس (فلات) به بیماری بررسی شدند. جزئیات ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این بررسی، در جدول ۱ نشان داده شده است. شایان ذکر است که از بین ژنوتیپ‌های آزمایشی نام‌برده در جدول ۱، دو شمارهٔ ۱ و ۳۲ به‌ترتیب رقم‌های شاهد تجاری چمران و چمران ۲ بوده که هم‌اکنون در اقلیم گرم و خشک جنوب مورد کشت هستند.

تهیهٔ مایهٔ تلقیح بیماری

جهت تهیهٔ مایهٔ تلقیح بیماری برای خزانه‌های آزمایشی در هر دو منطقه اجرای آزمایش یعنی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی عراقی‌محله (گرگان) و اولتان (مغان)، به‌ترتیب مخلوط پنج و چهار جدایهٔ قارچ عامل بیماری (*F. graminearum*) جمع‌آوری شده از منطقهٔ مربوطه (جدول ۲) در نظر گرفته شد. تهیهٔ مایهٔ تلقیح با استفاده از روش تعدیل‌شدهٔ وگنر (Wegener, 1992) انجام شد. برای این منظور، در

ارلن‌های به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر مقدار ۵ گرم کاه گندم آسیاب شده به همراه ۱۲۵ میلی‌لیتر آب شیر ریخته شده و به فاصله ۲۴ ساعت دو بار در اتوکلاو استریل (سترون) شد. بعد از این مرحله، قطعات کوچکی به قطر حدود ۵-۳ میلی‌متر از محیط‌های کشت PDA که حدود ده روز پیش جدایه‌های مورد نظر قارچ عامل بیماری به‌طور جداگانه روی آن‌ها کشت داده شده بودند، برداشته شد و به ارلن‌های حاوی آب و پودر کاه اضافه شدند. سپس، ارلن‌ها روی دستگاه شیکر دورانی با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای ۳۰-۲۵ درجهٔ سلسیوس قرار داده شدند. پس از گذشت حدود ۹۶ ساعت اسپورهای فراوانی از قارچ به‌دست آمد. مایهٔ تلقیح به‌دست‌آمده در این روش از پارچهٔ ململ عبور داده شد تا بقایای قارچی روی پارچه باقی مانده و اسپورهای عاری از بقایا در ظرف دیگری جمع‌آوری شوند. این اسپورها پس از رساندن غلظت آن‌ها به حدود ۵×۱۰^{۴} اسپور در هر میلی‌لیتر از محلول، جهت مایه‌زنی‌ها استفاده شدند.

جدول ۱. اسامی، شجره و منشأ ژنوتیپ‌های آزمایشی مورد استفاده در تحقیق به همراه شاهدهای مقاوم و حساس

Table 1. Names, pedigrees, and the origin of the genotypes used in the present study along with the resistant and susceptible checks

Genotype	Pedigree	Origin
S-92-1	Chamran	KARAJ
S-92-2	Pishtaz/Catbird	KARAJ
S-92-3	Pishtaz/Catbird	KARAJ
S-92-4	Pishtaz/3/Snb"s"//Emu"s"/Tjb84-1543	KARAJ
S-92-5	Pishtaz//Ald"s"/Snb"s"	KARAJ
S-92-6	Pishtaz/3/Jup/Bjy"s"//Kauz"s"	KARAJ
S-92-7	Pishtaz//Falat/Barakat	KARAJ
S-92-8	Pishtaz//Falat/Barakat	KARAJ
S-92-9	Bow"s"/Vee"s"//1-60-3/3/MV 17/4/Zagross	KARAJ
S-92-10	TRCH*2/3/C80.1/3*QT4118//3*PASTOR	31ESWYT[1]
S-92-11	SW89.5277/BORL95//SKAUZ/3/PRL/2*PASTOR/4/HEILO	31ESWYT
S-92-12	MELON//FILIN/MILAN/3/FILIN	31ESWYT
S-92-13	WHEAR//2*PRL/2*PASTOR	31ESWYT
S-92-14	ROLF07*2/KIRITATI	5EBWYT[2]
S-92-15	ATTILA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/7/ATTILA/2*PASTOR	5EBWYT
S-92-16	PBW343*2/KUKUNA/3/PASTOR//CHIL/PRL/4/PBW343*2/KUKUNA	43IBWSN[3]
S-92-17	Dez/SW891882	AHWAZ
S-92-18	PBW154/Falat//SW891882	AHWAZ
S-92-19	Dez/SW891882	AHWAZ
S-92-20	Chamran//2*Vee/Nac	AHWAZ
S-92-21	Moghan1/Dez//Chamran	AHWAZ
S-92-22	Moghan1/Dez//Chamran	AHWAZ
S-92-23	MTRWA92.161/PRINIA/5/SERI*3//RL6010/4*YR/3/PASTOR/4/BAV92	18SAWYT[4]
S-92-24	CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/BAV92/4/BERKUT	28SAWSN[5]
S-92-25	FILIN/IRENA/5/CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER/6/BERKUT	28SAWSN
S-92-26	CHEN/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)//BCN/3/BAV92/4/BERKUT	28SAWSN
S-92-27	VEE/MJI//2*TUI/3/PASTOR/4/PRL/2*PASTOR	28SAWSN
S-92-28	FRET2//SKAUZ*2/FCT/3/FILIN/2*PASTOR	28SAWSN
S-92-29	SOKOLL/EXCALIBUR	28SAWSN
S-92-30	ALTAR 84/AE.SQ//2*OPATA/3/SLVS/PASTOR	28SAWSN
S-92-31	SOKOLL//SUNCO/2*PASTOR	28SAWSN
S-92-32	Chamran 2	KARAJ
Res. check	Sumai 3	KARAJ
Sus. check	Falat	KARAJ

۱- ۳۱امین آزمایش مقایسهٔ عملکرد گندم بهارهٔ امیدبخش، ۲- پنجمین آزمایش مقایسهٔ عملکرد گندم نان امیدبخش، ۳- ۴۳امین خزانهٔ غربال بین‌المللی گندم نان، ۴- ۱۸امین آزمایش مقایسهٔ عملکرد گندم مناطق نیمه‌خشک و ۵- ۲۸امین خزانهٔ غربال گندم مناطق نیمه‌خشک، همگی دریافت‌شده از مرکز بین‌المللی اصلاح ذرت و گندم (CIMMYT)، مکزیکوسیتی، مکزیک.

1. 31st Elite Spring Wheat Yield Trial, 2. 5th Elite Bread Wheat Yield Trial, 3. 43th International Bread Wheat Screening Nursery, 4. 18th Semi-Arid Wheat Yield Trial, and 5. 28th Semi-Arid Wheat Screening Nursery, all received from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Mexico D.F., Mexico.

جدول ۲. مشخصات جدایه‌های *Fusarium graminearum* مورد استفاده

Table 2. Details of the used *Fusarium graminearum* isolates

Isolate code code	Host	Date of collection	Place of collection
SPII-1392-1	Wheat	10/05/2013	Araghimahalleh, Gorgan, Golestan, Iran
SPII-1392-2	Wheat	10/05/2013	Araghimahalleh, Gorgan, Golestan, Iran
SPII-1392-3	Wheat	10/05/2013	Araghimahalleh, Gorgan, Golestan, Iran
SPII-1392-4	Wheat	10/05/2013	Araghimahalleh, Gorgan, Golestan, Iran
SPII-1392-5	Wheat	10/05/2013	Araghimahalleh, Gorgan, Golestan, Iran
SPII-1393-4	Wheat	25/05/2014	Parsabad, Ardabil, Iran
SPII-1393-5	Wheat	26/05/2014	Parsabad, Ardabil, Iran
SPII-1393-6	Wheat	26/05/2014	Parsabad, Ardabil, Iran
SPII-1393-7	Wheat	26/05/2014	Parsabad, Ardabil, Iran

بررسی واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط مزرعه

ژنوتیپ‌های آزمایشی مورد نظر در سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی عراقی‌محله (گرگان) و اولتان (مغان) که برای ظهور و توسعهٔ این بیماری بسیار مستعد هستند، بررسی شدند. برای اجرای آزمایش در هر دو سال و هر دو منطقه از طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. در فصل کاشت (اواخر پاییز)، هرکدام از ژنوتیپ‌های آزمایشی روی یک خط ۱/۵ متری کاشته شده، عملیات معمول (آبیاری، کوددهی، کنترل علف‌های هرز و ...) به‌منظور رساندن گیاهان به مرحلهٔ سنبله‌دهی انجام شد. به‌محض آنکه هر ژنوتیپ به ۵۰درصد گل‌دهی خود رسید، اقدام به اسپورپاشی سنبله‌های آن با استفاده از محلول اسپورهای قارچ عامل بیماری شد، طوری که سنبله‌های مایه‌زنی شده کاملاً خیس شدند و این کار دو روز دیگر تکرار شد. برای کمک به توسعهٔ بیماری، آبیاری مه‌پاش (Mist) در خزانه‌های آزمایشی برقرار شد. حدود سه هفته پس از اولین اسپورپاشی، یادداشت‌برداری از بیماری شامل میزان وقوع (Disease incidence) و شدت بیماری (Disease severity) انجام شد. میزان وقوع بیماری با محاسبه درصد سنبله‌های آلوده در هر کرت و شدت بیماری با تخمین متوسط میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های هر کرت تعیین شد. همچنین، شاخص بیماری (Disease index) برای هر ژنوتیپ با تقسیم نمودن حاصل‌ضرب میزان وقوع بیماری در شدت بیماری بر عدد ۱۰۰ محاسبه شد (Stack & McMullen, 1994). علاوه بر آن، بعد از برداشت بوته‌های هر کرت، کوبیدن آن‌ها و نمونه‌برداری از دانه‌های به‌دست‌آمده، اقدام به شمارش دانه‌های آلوده و سالم و تعیین درصد دانه‌های آلوده به بیماری برای هر ژنوتیپ شد.

بررسی واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط گلخانه

برای بررسی واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط گلخانه (کرج) نیز از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. گلدان‌های آزمایشی به قطر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که در آن‌ها مخلوط خاک معمولی (۶۰٪) و پیت ماس (۴۰٪) ریخته شده بود به‌عنوان واحدهای آزمایشی در نظر گرفته شدند. تعداد ۱۰-۸ بذر از هرکدام از ژنوتیپ‌های آزمایشی در این گلدان‌ها کاشته شده و در گلخانه با دمای ۳۰-۲۵ درجهٔ سلسیوس قرار داده شدند تا سبز شوند. ده تا چهارده روز بعد از سبز کردن بذرها اقدام به تنک کردن گیاهان و رساندن تعداد آن‌ها به شش گیاه‌چه در هر گلدان شد. سپس، به‌منظور پنجه‌زنی بهتر گیاهچه‌ها دمای گلخانه کاهش داده شده و به ۲۰-۱۵ درجهٔ سلسیوس رسانده شد. حدود یک ماه بعد از رشد گیاهان در این شرایط دمایی، دوباره دمای گلخانه افزایش یافته و به ۳۰-۲۵ درجهٔ سلسیوس رسانده شد تا گیاهان در شرایط مناسب‌تری برای سنبله‌دهی آماده شوند. بعد از رساندن گیاهان به مرحلهٔ سنبله‌دهی، دست‌کم چهار سنبله از هر گلدان (تکرار) که حدود ۵۰درصد گل‌دهی داشتند، هرکدام با ۱۰ مایکرولیتر از محلول اسپورهای پنج جدایهٔ قارچ عامل بیماری جمع‌آوری شده از منطقهٔ گرگان به کمک مایکروپایپت به روش نقطه‌ای مایه‌زنی شدند. سه هفته بعد از مایه‌زنی هر سنبله، درصد پیشرفت بیماری (شدت بیماری) در آن با تعیین نسبت سنبلچه‌های آلوده به‌کل سنبلچه‌ها در سنبله تعیین شد. سپس بر اساس تعداد سنبله‌های یادداشت‌برداری شده، اقدام به میانگین‌گیری از شدت بیماری برای هر واحد آزمایشی شد.

تجزیهٔ داده‌ها

به‌منظور تجزیهٔ داده‌های پدیدگانی (فنوتیپی) جمع‌آوری‌شده از آزمایش‌ها و مقایسهٔ میانگین مقدار بیماری ژنوتیپ‌های آزمایشی از نرم‌افزار SAS (SAS Institute Inc., Raleigh, NC, USA) استفاده شد. قبل از انجام تجزیهٔ واریانس، داده‌های فنوتیپی با استفاده از رویهٔ PROC UNIVARIATE برای نرمال بودن آزمایش شدند و به‌علت عدم تبعیت مقادیر باقیمانده (Residuals) از توزیع نرمال، روی داده‌ها عملیات تبدیل داده از نوع آرکسینوس (Arcsine) انجام گرفت. تجزیهٔ واریانس داده‌ها با استفاده از رویهٔ PROC GLM و بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. با توجه به اینکه داده‌های صحرایی مربوط به این تحقیق، از اجرای آزمایش‌های دو ساله در دو منطقه به‌دست‌آمده بودند، تجزیهٔ واریانس مرکب روی این داده‌ها انجام شد. در مدل آماری مربوطه، اثر ژنوتیپ، ثابت و اثرهای سال، مکان و بلوک، تصادفی در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی طی مدت دو سال در دو منطقه در شرایط مزرعه و تجزیهٔ مرکب داده‌های مربوط به میزان وقوع، شدت و شاخص بیماری و میزان آلودگی دانه نشان داد که از نظر هر چهار صفت گفته‌شده، در سطوح احتمال ۱ یا ۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها وجود دارد (جدول۳). علاوه براثر ژنوتیپ، اثر متقابل سال× مکان نیز در سطوح احتمال ۱ یا ۵ درصد روی هر چهار صفت گفته‌شده معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، اثر متقابل سال× ژنوتیپ روی سه صفت وقوع و شاخص بیماری و آلودگی دانه و اثر متقابل سال× مکان× ژنوتیپ در سطوح احتمال ۱ یا ۵ درصد روی سه صفت شدت و شاخص بیماری و آلودگی دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل مکان× ژنوتیپ نیز در سطح احتمال ۱درصد روی وقوع بیماری معنی‌دار بود (جدول۳). مقایسهٔ میانگین وقوع بیماری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی به‌دست‌آمده از دو سال اجرای آزمایش در دو منطقه (جدول ۴) نشان داد، دو لاین S-92-6 و S-92-7 هر دو با داشتن میانگین وقوع بیماری ۲۴/۳درصد از نظر این صفت به‌عنوان مقاوم‌ترین لاین‌ها از بین ۳۲ مادهٔ آزمایشی بوده و سه لاین S-92-4، S-92-2 و S-92-3 با میانگین‌های وقوع بیماری بسیار نزدیک به هم، یعنی به‌ترتیب ۲۸/۵، ۲۹/۰ و ۲۹/۶ درصد، در جایگاه‌های سوم تا پنجم از نظر مقاومت به بیماری قرار دارند. از طرف دیگر، دو لاین S-92-20 و S-92-19 به‌ترتیب با میانگین‌های وقوع بیماری ۵۷/۹ و ۸۷/۳ درصد از نظر این صفت حساس‌تر از شاهد حساس فلات (با میانگین وقوع بیماری ۵۷/۴درصد) تشخیص داده شدند. مقایسهٔ میانگین شدت بیماری (جدول ۴) نشان داد، لاین S-92-6 با داشتن پایین‌ترین میانگین شدت بیماری (۳۵/۱٪) از نظر مقاومت به این صفت در بالای جدول قرار داشته و بعد از آن چهار لاین S-92-7، S-92-3، S-92-4 و S-92-2 به‌ترتیب با میانگین‌های شدت بیماری ۳۶/۳، ۳۷/۵، ۴۱/۲ و ۴۴/۵ درصد، در جایگاه‌های دوم تا پنجم از نظر مقاومت قرار دارند. از سوی دیگر، هفت لاین آزمایشی دیگر با داشتن میانگین‌های شدت بیماری بالاتر از شاهد حساس فلات (با میانگین شدت بیماری ۷۳/۲٪)، حساسیت شدید از خود نشان دادند و از بین آن‌ها لاین S-92-19 با داشتن میانگین شدت بیماری ۹۳/۸درصد حساس‌ترین لاین از نظر این صفت تشخیص داده شد. از نظر مقایسهٔ میانگین شاخص بیماری (جدول ۴)، لاین S-92-6 با داشتن میانگین شاخص بیماری ۶/۱درصد به‌عنوان مقاوم‌ترین لاین بوده و چهار لاین S-92-7، S-92-3، S-92-2 و S-92-4 نیز به‌ترتیب با میانگین‌های شاخص بیماری ۶/۹، ۷/۸، ۸/۲ و ۹/۳ درصد، جایگاه‌های دوم تا پنجم را از نظر مقاومت به این صفت به خود اختصاص دادند. از سوی دیگر، چهار لاین آزمایشی واکنش‌های حساس‌تر از شاهد حساس فلات (با میانگین شاخص بیماری ۳۵/۴٪) داشتند و از بین آن‌ها لاین S-92-19 با داشتن میانگین شاخص بیماری ۸۱/۰درصد به‌عنوان حساس‌ترین لاین شناسایی شد. با توجه به اینکه شاخص بیماری، که خود از مشارکت دو متغیر وقوع و شدت بیماری به دست می‌آید، شاخص بسیار مهمی بوده و می‌تواند واکنش یک ژنوتیپ در برابر بیماری بلایت فوزاریومی را به نحو

بهتری منعکس کند، نتایج مقایسهٔ میانگین این شاخص که به روش دانکن در سطح احتمال ۱درصد صورت گرفته است، جهت مشاهده و درک بهتر، در شکل ۱ نیز نشان داده شده است. از نظر مقایسهٔ میانگین آلودگی دانه (جدول ۴)، لاین S-92-7 با داشتن میانگین آلودگی ۳/۵درصد به‌عنوان مقاوم‌ترین لاین و بعد از آن چهار لاین S-92-8، S-92-25، S-92-3 و S-92-6 به‌ترتیب با میانگین آلودگی ۴/۰، ۴/۵، ۴/۶ و ۴/۷ درصد، جایگاه‌های دوم تا پنجم را مقاومت به آلودگی دانه به خود اختصاص دادند. همچنین، لاین S-92-19 با داشتن میانگین آلودگی ۱۴/۴درصد، بالاترین حساسیت به آلودگی دانه را نشان داد.

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس داده‌های مربوط به صفات مرتبط با مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به‌دست‌آمده از بررسی روی ژنوتیپ‌های امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در سال ۱۳۹۲ (ERWYT-S-92) طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در دو منطقهٔ گرگان و مغان*

Table 3. Combined analysis of variance for data of Fusarium head blight (FHB) incidence, severity, and index and Fusarium-damaged kernels (FDK) from the genotypes of Elite Regional Wheat Yield Trial of the South warm and dry zone in 2013 (ERWYT-S-92) tested in two growing years (2013-14 and 2014-15) in two locations (Gorgan and Moghan)*

Sources of Variation	D.F.	SS	MS	F Value	Pr > F
Disease Incidence:					
Year	1	12.9327	12.6327	3.30	0.3204
Location	1	18.1605	18.1605	4.64	0.2767
Year x Location	1	3.9146	3.9146	403.57	< 0.0001
Block (Year x Location)	8	0.0776	0.0097	0.82	0.5851
Genotype	33	10.7763	0.3266	4.06	< 0.0001
Year x Genotype	32	1.5336	0.0479	2.99	0.0013
Location x Genotype	33	1.2048	0.0365	2.28	0.0109
Year x Location x Genotype	32	0.5135	0.0160	1.36	0.1014
Error	260	3.0727	0.0118	-	-
Corrected Total	401	51.0137	-	-	-
Coefficient of Variation (C.V.): 16.27%					
Disease Severity:					
Year	1	1.6144	1.6144	4.06	0.2933
Location	1	0.4223	0.4223	1.06	0.4907
Year x Location	1	0.3979	0.3979	6.57	0.0335
Block (Year x Location)	8	0.4849	0.0606	2.45	0.0143
Genotype	33	13.3121	0.4034	3.01	< 0.0001
Year x Genotype	32	3.4206	0.1069	1.60	0.0946
Location x Genotype	33	1.6240	0.0492	0.74	0.8030
Year x Location x Genotype	32	2.1359	0.0667	2.69	< 0.0001
Error	260	6.4371	0.0248	-	-
Corrected Total	401	30.5743	-	-	-
Coefficient of Variation (C.V.): 17.72%					
Disease Index:					
Year	1	2.5762	2.5762	11.52	0.1824
Location	1	5.3275	5.3275	23.83	0.1286
Year x Location	1	0.2236	0.2236	12.15	0.0083
Block (Year x Location)	8	0.1475	0.0184	1.38	0.2047
Genotype	33	13.3419	0.4043	2.95	< 0.0001
Year x Genotype	32	3.8386	0.1200	5.66	< 0.0001
Location x Genotype	33	0.7925	0.0240	1.13	0.3656
Year x Location x Genotype	32	0.6785	0.0212	1.59	0.0273
Error	260	3.4709	0.0133	-	-
Corrected Total	401	30.0417	-	-	-
Coefficient of Variation (C.V.): 24.46%					
FDK:					
Year	1	0.8290	0.8290	1.75	0.4121
Location	1	7.1300	7.1300	15.02	0.1608
Year x Location	1	0.4746	0.4746	11.38	0.0097
Block (Year x Location)	8	0.3336	0.0417	10.80	< 0.0001
Genotype	33	1.0728	0.0325	1.68	0.0191
Year x Genotype	32	0.4454	0.0139	2.01	0.0262
Location x Genotype	33	0.3136	0.0095	1.38	0.1824
Year x Location x Genotype	32	0.2221	0.0069	1.77	0.0086
Error	257	0.9922	0.0039	-	-
Corrected Total	398	11.9444	-	-	-
Coefficient of Variation (C.V.): 22.80%					

* قبل از تجزیهٔ واریانس، روی داده‌ها عملیات تبدیل داده از نوع آرکسینوس انجام شده است.

* Arcsine transformed data was applied for data analysis.

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین صفات مرتبط با مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به‌دست‌آمده از بررسی روی ژنوتیپ‌های امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در سال ۱۳۹۲ (ERWYT-S-92) در شرایط مزرعه طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در دو منطقهٔ گرگان و مغان و در شرایط گلخانه*

Table 4. Comparison of means for the traits related to resistance to Fusarium head blight (FHB) among the genotypes of Elite Regional Wheat Yield Trial of the South warm and dry zone in 2013 (ERWYT-S-92) tested under field condtions in two growing years (2013-14 and 2014-15) in two locations (Gorgan and Moghan) and under the greenhouse conditions*

Genotype	Disease incidence (Field)	Disease severity (Field)	Disease index (Field)	Fusarium-damaged kernels (FDK) (Field)	Disease severity (Greenhouse)
S-92-1	45.6	70.2	31.1	7.9	68.6
S-92-2	29.0	44.5	8.2	6.4	15.2
S-92-3	29.6	37.5	7.8	4.6	34.5
S-92-4	28.5	41.2	9.3	6.4	34.8
S-92-5	38.2	59.3	16.9	5.1	28.5
S-92-6	24.3	35.1	6.1	4.7	8.7
S-92-7	24.3	36.3	6.9	3.5	3.6
S-92-8	30.7	45.1	10.8	4.0	23.7
S-92-9	34.8	54.6	15.6	5.4	14.0
S-92-10	52.6	78.0	40.8	9.7	93.0
S-92-11	30.2	51.3	12.1	9.2	39.9
S-92-12	34.0	64.2	19.7	8.1	61.4
S-92-13	41.3	69.4	26.3	9.6	10.3
S-92-14	44.1	75.7	31.0	7.9	87.4
S-92-15	47.4	68.3	28.9	10.4	67.8
S-92-16	51.6	78.9	38.6	8.9	83.5
S-92-17	34.6	51.6	12.3	6.1	34.3
S-92-18	45.9	68.6	29.1	11.3	46.7
S-92-19	87.3	93.8	81.0	14.4	62.5
S-92-20	57.9	79.1	46.3	7.4	54.3
S-92-21	34.6	51.4	12.7	7.5	50.5
S-92-22	39.3	58.8	18.1	5.5	39.5
S-92-23	38.5	69.5	23.5	7.8	75.9
S-92-24	43.4	73.4	29.7	9.9	88.2
S-92-25	37.4	61.8	19.9	4.5	61.4
S-92-26	35.6	77.2	25.3	10.1	76.7
S-92-27	35.3	60.0	16.9	6.2	87.4
S-92-28	32.3	57.2	15.4	6.9	44.7
S-92-29	31.8	48.0	12.7	5.7	17.7
S-92-30	31.9	52.4	13.9	7.1	75.5
S-92-31	37.7	68.2	23.3	7.0	95.3
S-92-32	33.9	56.0	15.8	7.5	47.1
Sumai 3	0.0	0.0	0.0	1.1	1.2
Falat	57.4	73.2	35.4	12.3	75.0

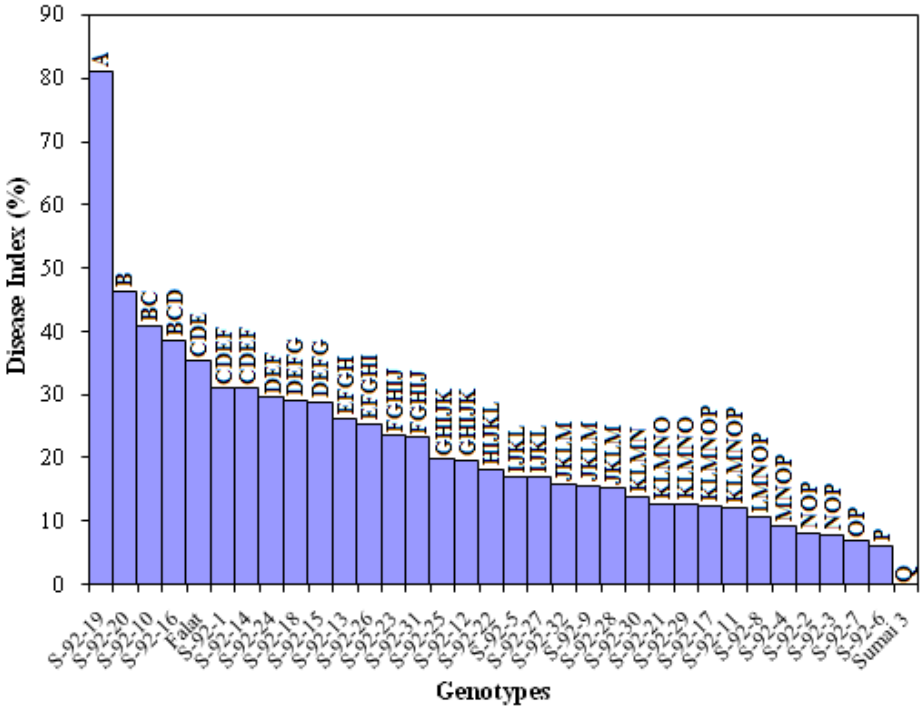
* Back-transformed data from arcsine data transformation.

* داده‌های برگردانده شده از تبدیل دادهٔ آرکسینوس.

تجزیهٔ سادهٔ داده‌های به‌دست‌آمده از میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های مایه‌زنی شده (شدت بیماری) در شرایط کنترل‌شدهٔ گلخانه نشان داد، در سطح احتمال ۱درصد تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی وجود دارد (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین میزان شدت بیماری (جدول ۴) نشان داد، پنج لاین S-92-7، S-92-6، S-92-13، S-92-9 و S-92-2 به‌ترتیب با میانگین‌های آلودگی ۳/۶، ۸/۷، ۱۰/۳، ۱۴/۰ و ۱۵/۲ درصد، جایگاه‌های اول تا پنجم را از نظر مقاومت به بیماری به خود اختصاص دادند. از دیگر سو، لاین S-92-31 با میانگین شدت بیماری ۹۵/۳درصد به‌عنوان حساس‌ترین لاین در بین مواد آزمایشی تعیین شد.

گرچه تاکنون وارد کردن مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در برنامهٔ گندم اقلیم گرم و خشک جنوب به‌طور هدفمند در دستور کار نبوده و به‌طورمعمول انتظار نمی‌رفت که ژنوتیپ‌های مربوط به این اقلیم از جمله لاین‌های امیدبخش مورد بررسی این تحقیق (جدول ۱) تنوع بالایی از نظر مقاومت به این بیماری داشته باشند، این نتایج نشان‌دهندهٔ وجود تنوع کافی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بوده و این فرصت را به‌دست می‌دهد که بتوان ژنوتیپ‌های مناسب را جهت معرفی در سطح این اقلیم انتخاب نمود. مشاهدهٔ مشخصات و شجرهٔ لاین‌های آزمایشی (جدول ۱) اطلاعات زیادی از نظر درک علت مقاومت/حساسیت این لاین‌ها به‌دست نمی‌دهد مگر در رابطه با دو لاین آزمایشی S-92-2 و S-92-3 که در

شجرهٔ آن‌ها گندمی از سیمیت با نام Catbird به‌کاررفته است. این گندم که با نام Ning-9350 نیز شناخته می‌شود (Zhonghu & Rajaram, 1997)، دارای منشأ چینی بوده و مقاومت به بلایت فوزاریومی سنبله در آن شناخته شده است (He *et al*., 2000; Liu & Anderson, 2003; van Ginkel *et al*., 2004). به‌طور شگفت‌آوری هر دو لاین S-92-2 و S-92-3 در این بررسی مقاومت بالایی در برابر بیماری بلایت فوزاریومی سنبله داشته و ممکن است این مقاومت از گندم Catbird وارد این لاین‌ها شده باشد.



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین شاخص بیماری بلایت فوزاریومی سنبلهٔ به‌دست‌آمده از بررسی روی ژنوتیپ‌های گندم مربوط به آزمایش مقایسهٔ عملکرد یکنواخت امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در سال ۱۳۹۲ (ERWYT-S-92) طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در دو منطقهٔ گرگان و مغان و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها مطابق آزمون دانکن در سطح احتمال ۱درصد. ژنوتیپ‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Figure 1. Comparison of means for Fusarium head blight (FHB) disease index collected from the genotypes of the Elite Regional Wheat Yield Trial of the South warm and dry zone in 2013 (ERWYT-S-92) tested in two growing years (2013-14 and 2014-15) in two locations (Gorgan and Moghan) and genotypes grouping based on Duncan test at α=1%. Genotypes with similar letters are not significantly different at 1% probability level.

جدول ۵. تجزیهٔ واریانس سادهٔ داده‌های مربوط به میزان پیشرفت بیماری (شدت بیماری) بلایت فوزاریومی سنبله در ژنوتیپ‌های گندم مربوط به آزمایش‌های مقایسهٔ عملکرد یکنواخت امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در سال ۱۳۹۲ (ERWYT-S-92) مایه‌زنی شده با قارچ عامل بیماری (*Fusarium graminearum*) در شرایط گلخانه*

Table 5. Simple analysis of variance for Fusarium head blight (FHB) disease progress (severity) data collected from the genotypes of the Elite Regional Wheat Yield Trial of the South warm and dry zone in 2013 (ERWYT-S-92) inoculated with *Fusarium graminearum* under the greenhouse conditions*

Sources of Variation	D.F.	SS	MS	F Value	Pr > F
Block	2	0.6852	0.3426	3.98	0.0234
Genotype	33	10.7756	0.3265	3.79	< 0.0001
Error	66	5.6841	0.0861	-	-
Corrected Total	101	17.1449	-	-	-
Coefficient of Variation (C.V.): 27.44%					

* قبل از تجزیهٔ واریانس، روی داده‌ها عملیات تبدیل داده از نوع آرکسینوس انجام شده است.

* Arcsine transformed data was applied for data analysis.

تاکنون پنج نوع مقاومت ژنتیکی نسبت بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در گندم شناسایی شده است. دو نوع از این مقاومت‌ها یعنی مقاومت به آلودگی اولیه (مقاومت نوع I) و مقاومت به گسترش بیماری در گیاه (مقاومت نوع II) برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ توسط شرودر و کریستنسن معرفی شدند (Schroeder & Christensen, 1963). بعداً سه نوع مقاومت دیگر یعنی مقاومت به تجمع توکسین در بافت‌های گیاهی (مقاومت نوع III)، مقاومت به آلودگی دانه (مقاومت نوع IV)، و تحمل گیاه در برابر بیماری گزارش شده‌اند (Mesterházy, 1995; Miller *et al.*, 1985; Wang & Miller, 1988). وقوع بیماری که نشان‌دهندهٔ مقاومت نوع I است، معمولاً در گندم‌هایی که روی آن‌ها اسپورپاشی انجام می‌گردد یا به‌طور طبیعی آلوده می‌شوند ارزیابی می‌شود (Buerstmayr *et al.*, 2009). برعکس، آنچه به‌دنبال اسپورپاشی گیاهان با عنوان شدت بیماری ثبت و اعلام می‌شود، نمی‌تواند به‌طور اختصاصی نشان‌دهندهٔ مقاومت نوع II باشد بلکه درواقع بیانگر ترکیبی از دو نوع مقاومت I و II خواهد بود که به آن مقاومت کل هم گفته می‌شود (Buerstmayr *et al.*, 2009). با توجه به این امر، با داشتن میزان شدت بیماری یک رقم/لاین آزمایشی، اندازه‌گیری شده در مزارع تلقیح شده با اسپورپاشی‌شده، امکان جداسازی این دو نوع مقاومت و مشخص کردن سهم هر یک در میزان شدت بیماری وجود ندارد. همین‌طور، شاخص بیماری نیز که از مشارکت دو متغیر میزان وقوع و شدت بیماری به دست می‌آید، نشان‌دهندهٔ ترکیب این دو نوع مقاومت است. به‌هرحال، با توجه این‌که شاخص بیماری درواقع دربرگیرندهٔ هم میزان وقوع بیماری و هم میزان شدت آن در مزرعه است از نظر کاربردی بسیار مهم بوده و استفاده از آن در غربال کردن ژنوتیپ‌های آزمایشی، انتخاب مواد و تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت این بیماری بسیار مفید و تعیین‌کننده است. برعکس آزمایش‌های مزرعه‌ای، شدت بیماری اندازه‌گیری‌شده در گیاهانی که در شرایط کنترل‌شدهٔ گلخانه از طریق تلقیح نقطه‌ای آلوده می‌شوند نشان‌دهندهٔ مقاومت نوع II است (Bai *et al.*, 1999; Waldron *et al.*, 1999). برای تعیین مقاومت‌های نوع III و IV، به‌ترتیب میزان دی‌اوکسی‌نیوالنول (DON) موجود در دانه‌های گندم و درصد دانه‌های آلوده به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله اندازه‌گیری می‌شود.

بر اساس آنچه گفته شد و با توجه به اینکه میزان وقوع بیماری معیاری برای اندازه‌گیری مقاومت نوع I نسبت به این بیماری به‌شمار می‌رود، پایین‌تر بودن آن در پنج لاین آزمایشی S-92-6، S-92-7، S-92-4، S-92-2 و S-92-3 در این بررسی می‌تواند دلیلی بر وجود مقداری مقاومت نوع I در آن‌ها باشد. این پنج لاین همگی با داشتن میانگین وقوع بیماری کمتر از ۳۰درصد (جدول ۴)، در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی از نظر این صفت در برابر بیماری مقاومت بهتری داشتند. با اینکه میانگین شدت بیماری در این پنج لاین نسبتاً بالا و در دامنهٔ ۳۵/۱ تا ۴۴/۵ درصد قرار داشت (جدول ۴)، با توجه به بالاتر بودن نسبی شدت بیماری در سایر ژنوتیپ‌های آزمایشی، این لاین‌ها در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی از شدت بیماری کمتر و به‌تبع آن میزان مقاومت بالاتری برخوردار بودند. با توجه به اینکه در آزمایش‌های مزرعه‌ای تلقیح‌شده به‌روش اسپورپاشی، شدت بیماری ترکیبی از دو نوع مقاومت I و II را نشان می‌دهد و با توجه به اینکه بنابر توضیحات قبل احتمال وجود مقاومت نوع I در این لاین‌ها وجود دارد، برای تفکیک سهم مقاومت نوع II در پایین آوردن میزان شدت بیماری در این لاین‌ها باید به نتایج آزمایش‌های گلخانه‌ای مراجعه کرد. نتایج آزمایش‌های گلخانه‌ای به روش تلقیح نقطه‌ای پایین‌تر بودن نسبی شدت بیماری (از ۳/۶ تا ۱۵/۲ درصد) در سه لاین از پنج لاین گفته‌شده یعنی S-92-7، S-92-6 و S-92-2 را نشان داد (جدول ۵). این موضوع تأیید می‌کند که سه لاین گفته‌شده احتمالاً مقاومت نوع II نیز دارند. درهرحال، با فرض وجود هر دو نوع مقاومت I و II در این سه لاین، به‌نظر می‌رسد که شدت بیماری در آن‌ها خیلی پایین نیامده است. یکی از دلایل این امر ممکن است به ماهیت اسپورپاشی در مزرعه برگردد. به این معنا که ممکن است تعداد زیاد اسپورهای قرار گرفته روی سنبله‌ها، جوانه‌زنی‌های اسپورها، ایجاد لکه‌های بافت

مرده (نکروزه) کوچک متعدد و اتصال آن‌ها به هم منجر به ایجاد مناطق نکروزه بزرگ‌تری در سنبله‌ها شود که به‌طور کاذب باعث بالاتر دیده شدن شدت بیماری روی سنبله‌ها می‌شوند. این امر مخصوصاً اگر دفعات اسپورپاشی خزانه‌های آزمایشی بیش‌ازحد معمول اتفاق افتاده باشد بیشتر دیده می‌شود.

پنج لاین آزمایشی S-92-6، S-92-7، S-92-4، S-92-2 و S-92-3 از نظر شاخص بیماری هم بهترین وضعیت را داشته و همگی با داشتن میانگین شاخص بیماری کمتر از ۱۰درصد (جدول ۴)، بسیار مقاوم ظاهر شدند. با در نظر گرفتن این موضوع که در فرمول محاسبهٔ شاخص بیماری هر دو متغیر وقوع و شدت بیماری دخالت دارند و با توجه به پایین‌تر بودن نسبی میانگین وقوع بیماری در مقایسه با شدت بیماری در این ژنوتیپ‌ها، ممکن است وقوع بیماری نقش برجسته‌تری در پایین آوردن این شاخص داشته باشد. با توجه به این امر، به نظر می‌رسد که عمدتاً وجود مقاومت نوع I در این مواد است که توانسته آن‌ها را به‌خوبی در برابر بیماری حفظ کند. با یادآوری این موضوع که هم‌اکنون استاندارد بخش تحقیقات غلات برای گزینش مواد امیدبخش از نظر بیماری بلایت فوزاریومی، داشتن شاخص بیماری ۱۰درصد یا کمتر است، هر پنج لاین گفته شده در محدودهٔ انتخاب و توصیه برای معرفی و کشت در سطح کشور قرار می‌گیرند.

پایین‌تر بودن میزان آلودگی دانه به بیماری در سه لاین آزمایشی S-92-7، S-92-3 و S-92-6 در این تحقیق (جدول ۴)، ممکن است به علت وجود مقاومت نوع IV در این لاین‌ها باشد، هرچند که وجود مقاومت نوع I یا II هم که باعث کاهش آلودگی سنبله‌ها به بیماری می‌شوند می‌تواند به‌طور غیرمستقیم در این امر نقش داشته باشد. درهرحال، هر سه لاین مذکور میانگین آلودگی دانهٔ کمتر از ۵درصد داشته و این امر نیز می‌تواند دلیل دیگری برای انتخاب آن‌ها باشد.

مقایسهٔ کلی لاین‌های آزمایشی از نظر داده‌های مربوط به میزان وقوع، شدت و شاخص بیماری نشان می‌دهد که پنج لاین آزمایشی S-92-6، S-92-7، S-92-4، S-92-2 و S-92-3 از نظر هرکدام از این متغیرها در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی پایین‌ترین میانگین‌ها را داشته و لذا همیشه به‌عنوان پنج لاین برتر از نظر مقاومت به بیماری تشخیص داده شدند. این امر ضمن اشاره به روابط نزدیک‌بین این سه صفت که قبلاً نیز حداقل بین دو تا از آن‌ها (وقوع و شدت بیماری) به اثبات رسیده است (Del Ponte *et al*., 2005; Dill-Macky & Jones, 2000; Malihipour *et al*., 2017) و نیز وجود احتمالی مقاومت نوع I در آن‌ها ناشی از پایین بودن میزان وقوع بیماری، اطمینان بیشتری از نظر وجود مقاومت به بیماری در این لاین‌ها و امکان انتخاب آن‌ها به‌دست می‌دهد. با توجه به توضیحات قبلی در رابطه با پایین بودن میانگین شدت بیماری در سه لاین از پنج لاین گفته شده یعنی S-92-7، S-92-6 و S-92-2 در شرایط گلخانه که احتمال وجود مقاومت نوع II در آن‌ها را نیز بالا می‌برد، این لاین‌ها می‌توانند شانس بالاتری برای انتخاب داشته باشند. در نهایت اینکه، با توجه به توضیحات قبلی در رابطه با پایین بودن میزان آلودگی دانه در دو لاین S-92-6 و S-92-7 از بین سه لاین گفته شده و احتمال وجود مقاومت نوع IV در آن‌ها علاوه بر دو نوع مقاومت قبلی، این دو لاین می‌توانند به‌عنوان دو لاین اول جهت معرفی در سطح اقلیم گرم و خشک جنوب کشور پیشنهاد شوند.

با توجه به اینکه در این بررسی، اثر متقابل برخی عوامل روی بیماری معنی‌دار بودند، از بین آن‌ها اثر متقابل مکان x ژنوتیپ که در شرایط معمول می‌تواند روی انتخاب لاین‌های آزمایشی در یک برنامهٔ اصلاحی تأثیر بگذارد، بحث می‌شود. شایان ذکر است که اثر متقابل مکان x ژنوتیپ، که نشان‌دهندهٔ واکنش ویژه یک یا چند ژنوتیپ از ژنوتیپ‌های آزمایشی در یکی از دو مکان اجرای آزمایش از نظر صفت گفته شده است، در این تحقیق فقط روی میزان وقوع بیماری اثر معنی‌دار داشت. مقایسهٔ میانگین‌های وقوع بیماری ژنوتیپ‌های آزمایشی در دو مکان مختلف نشان داد، لاین S-92-7 در منطقهٔ گرگان و لاین S-92-3 در منطقهٔ مغان پایین‌ترین میانگین‌های بیماری را داشته و بنابراین، هرکدام در آن منطقهٔ بهترین وضعیت را از نظر مقاومت به بیماری داشته‌اند. لاین S-92-19 نیز در هر دو منطقه اجرای آزمایش بالاترین میانگین

وقوع بیماری را داشته و حساس‌ترین لاین از این نظر بود. درهرحال، با مشاهدهٔ نتایج مقایسهٔ میانگین وقوع بیماری لاین‌های آزمایشی به‌دست‌آمده از تجزیهٔ مرکب داده‌های دو ساله در دو منطقه (جدول ۴) که قبلاً نیز به آن پرداخته شد، ملاحظه می‌شود که دو لاین S-92-7 و S-92-3 در آنجا نیز جزو پنج لاین برتر و لاین S-92-19 حساس‌ترین لاین آزمایشی از نظر میانگین وقوع بیماری بوده است. با توجه به این توضیحات، به‌نظر می‌رسد که دو لاین S-92-7 و S-92-3 علاوه بر تأثیرپذیری ویژه به‌ترتیب از دو منطقهٔ گرگان و مغان، با توجه به تجزیهٔ داده‌های مرکب به‌دست‌آمده از دو سال در دو منطقه نیز دارای میانگین وقوع بیماری پایین‌تر و به‌تبع آن مقاومت خوبی داشته‌اند.

نتیجه‌گیری کلی

بلایت فوزاریومی سنبله یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در ایران است. این بیماری در اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور شایع بوده و سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصول، پایین آمدن کیفیت بذر و ایجاد مشکلات بهداشتی و سلامتی مرتبط با مصرف نان حاصل از گندم تولیدشده در این اقلیم می‌گردد. این بیماری از اقلیم گرم و خشک جنوب نیز گزارش شده و چند مورد اپیدمی از آن در این اقلیم باعث ایجاد خسارت به محصول گندم شده است. با توجه به اهمیت استان خوزستان از نظر تولید گندم کشور و عدم وجود مقاومت شناخته شده در رقم‌های گندم مورد کاشت در این استان، ممکن است خطر شیوع این بیماری به‌ویژه برای گندم دوروم این استان جدی باشد. بنابراین، عاقلانه خواهد بود چنانچه رقم‌های مورد کاشت در استان با رقم‌های جدیدتری از گندم جایگزین شوند که علاوه برداشتن عملکرد بالا، از نظر مقاومت به بیماری‌ها از جمله بیماری بلایت فوزاریومی سنبله قابل قبول باشند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، دو لاین آزمایشی S-92-6 و S-92-7 به علت پایین بودن همهٔ متغیرهای مرتبط با مقاومت به بیماری در شرایط مزرعه و گلخانه می‌توانند نامزد (کاندیدا)های مناسبی برای جایگزینی رقم‌های قدیمی‌تر باشند. در اولویت بعد، سه لاین S-92-2، S-92-3 و S-92-4 قرار دارند که از بیشتر جهات مقاومت مطلوبی در برابر بیماری داشتند. درهرحال، لازم است قبل از انتخاب نهایی، واکنش این ژنوتیپ‌ها نسبت به سایر بیماری‌ها به‌ویژه زنگ‌ها نیز مدنظر قرار گیرد. همچنین، لازم خواهد بود عملکرد این مواد با عملکرد رقم‌های مورد کاشت یا پیشنهادی برای کاشت در اقلیم گرم و خشک جنوب مورد توجه و مقایسه قرار گیرد.

سپاسگزاری

از آقایان مهندس اسماعیل ابراهیمی میمند، مهندس حسین بهلول و مهندس عزیز ناصری به‌ترتیب کارشناسان مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل که در اجرای پروژهٔ تحقیقاتی مصوب شماره ۹۲۳۰۲-۰۳-۰۳-۰ همکاری داشته‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. کلیهٔ هزینه‌های اجرای این تحقیق از محل اعتبارات پروژهٔ فوق توسط مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین شده است.

REFERENCES

1. Arthur, J.C. (1891). Wheat scab. *Indiana Agricultural Experiment Station Bulletin*, 36, 129-138.
2. Bai, G. H. & Shaner, G. E. (1994). Scab of wheat: prospects for control. *Plant Disease*, 78, 760-766.
3. Bai, G. H. & Shaner, G. E. (2004). Management and resistance in wheat and barley to Fusarium head blight. *Annual Review of Phytopathology*, 42, 135-161.
4. Bai, G. H., Kolb, F. L., Shaner, G. & Domier, L. L. (1999). Amplified fragment length polymorphism markers linked to a major quantitative trait locus controlling scab resistance in wheat. *Phytopathology*, 89, 343-348.
5. Bamdadian, A. & Torabi, M. (1983). *Important Diseases of Wheat and Barely and Methods of Scoring*. Plant Pests and Diseases Research Institute, Tehran, Iran. 67 pp. (in Farsi)

6. Ban, T. (1997). Evaluation of resistance to *Fusarium* head blight in indigenous Japanese species of *Agropyron* (*Elymus*). *Euphytica*, 97, 39-44.
7. Bolanos-Carriel, C., Wegulo, S.N., Hallen-Adams, H., Baenziger, P.S., Eskridge, K.M. & Funnell-Harris, D. (2016). Effects of cultivar resistance, fungicide application timing, and fungicide chemical class on FHB and DON in winter wheat. In: *Proceedings of the 2016 National Fusarium Head Blight Forum*, 4-6 Dec. 2016., St. Louis, MO, USA, pp. 9-10.
8. Buerstmayr, H., Ban, T. & Anderson, J.A. (2009). QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breeding*, 128, 1-26.
9. Buerstmayr, H., Stierschneider, M., Steiner, B., Lemmens, M., Griesser, M., Nevo, E. & Fahima, T. (2003). Variation for resistance to head blight caused by *Fusarium graminearum* in wild emmer (*Triticum dicoccoides*) originating from Israel. *Euphytica*, 130, 17-23.
10. Cai, H. & Lu, W. Z. (2016). Resistance analysis and utilization research on scab-resistant winter wheat shengxuan 6. In: *Proceedings of the 5th International Symposium on Fusarium Head Blight*, 6-10 Apr. 2016, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil, p. 27.
11. Chen, P. (2016). Improvement of wheat Fusarium head blight (FHB) resistance in China. In: Proceedings of *the 5th International Symposium on Fusarium Head Blight*, 6-10 Apr. 2016, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil, p. 18.
12. Chen, Q., Eudes, F., Conner, R. L., Graf, R., Comeau, A., Collin, J., Ahmad, F., Zhou, R., Li, H., Zhao, Y. & Laroche, A. (2001). Molecular cytogenetic analysis of a durum wheat x *Thinopyrum distichum* hybrid used as a new source of resistance to Fusarium head blight in the greenhouse. *Plant Breeding*, 120, 375-380.
13. Dehghan, M. A. & Ebrahimnejad, S. (2016). Evaluation of resistance and damage of Fusarium head blight in wheat promising and advanced genotypes in hot and humid conditions in North of Iran. *Journal of Crop Breeding*, 8, 142-151.
14. Del Ponte, E. M., Fernandes, J. M. C. & Pavan, W. A. (2005). Risk infection simulation model for Fusarium head blight of wheat. *Fitopatologia Brasileira*, 30, 634-642.
15. Dill-Macky, R. & Jones, R. K. (2000). The effect of previous crop residues and tillage on Fusarium head blight of wheat. *Plant Disease*, 84, 71-76.
16. Etebarian, H. R. & Torabi, M. (1996). Studies on resistance of wheat cultivars to fusarium head blight. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 32, 9-21. (In Farsi with English abstract).
17. Foroutan, A., Nategh, Z., Olady, M. & Rostami, F. (1995). Selection tolerant materials of wheat to scab in Mazandaran. In: *Proceedings of 12th Iranian Plant Protection Congress*, 2-7 Sept. 1995, Karaj Junior College of Agriculture, Karaj, Alborz, Iran, p. 49.
18. Gervais, L., Dedryver, F., Morlais, J.-Y., Bodusseau, V., Negre, S., Bilous, M., Groos, C. & Trottet, M. (2003). Mapping of quantitative trait loci for field resistance to Fusarium head blight in an European winter wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 106, 961-970.
19. Gilbert, J. & Haber, S. (2013). Overview of some recent research developments in fusarium head blight of wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35, 149-174.
20. Golzar, H. (1995). Record of sources of resistance to Fusarium head blight. In: Proceedings of *12th Iranian Plant Protection Congress*, 2-7 Sept. 1995, Karaj Junior College of Agriculture, Karaj, Alborz, Iran, p. 51.
21. He, Z. H., van Ginkel, M., Gilchrist, L. & Rajaram, S. (2000). Progress of China/CIMMYT shuttle breeding and germplasm exchange aimed at combining high yield potential with scab resistance. In: Proceedings of *the 2000 National FHB Forum*, 10-12 Dec. 2000, Erlanger, KY, USA, pp. 264-268.
22. Liu, S. & Anderson, J. A. (2003). Marker assisted evaluation of Fusarium head blight resistant wheat germplasm. *Crop Science*, 43, 760-766.
23. Liu, W. X., Chen, P. D. & Liu, D. J. (2000). Radiation-induced *Triticum aestivum-Leymous racemosus* translocations and their molecular cytogenetic analysis. In: Proceedings of *the International Symposium on Wheat Improvement for Scab Resistance*, 5-10 May 2000, Suzhou and Nanjing, China, pp. 73-76.
24. Malihipour, A., Dehghan, M. A. & Shahbazi, K. (2017). Genes/QTLs associated to Fusarium head blight (FHB) resistance in some promising lines of wheat. *Seed and Plant Improvement Journal*, 1-33, 153-175.

25. Malihipour, A., Gilbert, J., Fedak, G., Brûlé-Babel, A. & Cao, W. (2017). Mapping the A genome for QTL conditioning resistance to Fusarium head blight in a wheat population with *Triticum timopheevii* background. *Plant Disease*, 101, 11-19.Malihipour, A., Saidi, A., Alizadeh, A., Dehghan, M. A. & Foroutan, A. R. (2000). Evaluation of resistance of some spring wheat advanced lines and cultivars to Fusarium head blight in Iran. In: Proceedings of *6th International Wheat Conference*, 5-9 Jun. 2000, Budapest, Hungary, p. 184.
26. McKendry, A. L., Tague, D. N., Wright, R. L., Tremain, J. A. & Conley, S. P. (2005). Registration of 'Truman' wheat. *Crop Science*, 45, 421-423.
27. McMullen, M., Jones, R. & Gallenberg, D. (1997). Scab of wheat and barley: A reemerging disease of devastating impact. *Plant Disease*, 81, 1340-1348.
28. Mergoum, M., Frohberg, R. C., Miller, J. D. & Stack, R. W. (2005). Registration of 'Steele-ND' wheat. *Crop Science*, 45, 1163-1164.
29. Mergoum, M., Frohberg, R. C., Miller, J. D., Stack, R. W., Olsona, T., Friesen, T. L. & Rasmussen, J. B. (2006). Registration of 'Glenn' wheat. *Crop Science*, 46, 473-474.
30. Mesterházy, A. (1995). Types and components of resistance to fusarium head blight of wheat. *Plant Breeding*, 114, 377-386.
31. Miller, J. D., Young, J. C. & Sampson, D. R. (1985). Deoxynivalenol and fusarium head blight resistance in spring cereals. *Journal Phytopathology*, 113, 359-367.
32. Moosawi-Jorof, S. A. (2003). First report of *Fusarium* head blight of wheat in Khuzestan province, Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 39, 232-233 (In Farsi with English Abstract).
33. Parry, D. W., Jenkinson, P. & McLeod, L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small grains-a review. *Plant Pathology*, 44, 207-238.
34. Ruckenbauer, P., Buerstmayr, H. & Lemmens, M. (2001). Present strategies in resistance breeding against scab (*Fusarium* spp.). *Euphytica*, 119, 121-127.
35. Rudd, J. C., Horsley, R. D., McKendry, A. L. & Elias, E. M. (2001). Host plant resistance genes for fusarium head blight: Sources, mechanisms, and utility in conventional breeding systems. *Crop Science*, 41, 620-627.
36. Schroeder, H. W. & Christensen, J. J. (1963). Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology*, 53, 831-838.
37. Sepahvand, N. A., Heidari, F., Totiaei, A., Serajazari, M. & Mozaffari, J. (2009). Field and molecular evaluation of resistance of Iranian bread wheats to Fusarium head blight. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 1, 63-80.
38. Shen, X., Kong, L. & Ohm, H. W. (2004). Fusarium head blight resistance in hexaploid wheat (*Triticum aestivum*)-*Lophopyrum* genetic lines and tagging of the alien chromatin by PCR markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 108, 808-813.
39. Snijders, C. H. A. (1990). Genetic variation for resistance to Fusarium head blight in bread wheat. *Euphytica*, 50, 171-179.
40. Stack, R. W. & McMullen, M. P. (1994). *A visual scale to estimate severity of Fusarium head blight in wheat-PP1095*. North Dakota State University, Fargo, ND, USA. Retrieved Feb. 14, 2017, from https://www.ag.ndsu.edu/publications/landing-pages/crops/a-visual-scale-to-estimate-severity-of-fusarium-head-blight-in-wheat-pp-1095
41. Sutton, J. (1982). Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4, 195-209.
42. van Ginkel, M., William, M. & Lillemo, M. (2004). CIMMYT's FHB field research approach, evidence for host-by-location interaction and potentially new genetic diversity in resistance in wheat. In: Proceedings of *the 2nd International Symposium on Fusarium Head Blight*, 11-15 Dec. 2004, Orlando, FL, USA, pp. 200-202.
43. Waldron, B. L., Moreno-Sevilla, B., Anderson, J. A., Stack, R. W. & Frohberg, R. C. (1999). RFLP mapping of QTL for fusarium head blight resistance in wheat. *Crop Science*, 39, 805-811.
44. Wan, Y.-F., Yen, C. & Yang, J.-L. (1997a). The diversity of head-scab resistance in Triticeae and their relation to ecological conditions. *Euphytica*, 97, 277-281.
45. Wan, Y.-F., Yen, C., Yang, J.-L. & Liu, F.-Q. (1997b). Evaluation of *Roegneria* for resistance to head scab caused by *Fusarium graminearum* Schwabe. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 44, 211-215.

46. Wang, Y.-Z. & Miller, J. D. (1988). Effects of *Fusarium graminearum* metabolites on wheat tissue in relation to Fusarium head blight resistance. *Journal of Phytopathology*, 122, 118-125.
47. Wegener, M. (1992). *Optimierung von saatgutpillierungen mit mikrobiellen antagonisten zur biologischen biologischen bekampfung von Fusarium culmorum (W. G. Smith) Sacc. in weizen*. Diplomarbeit, Georg-August-Universitaet Göttingen, Göttingen, Germany.
48. Yang, Z., Gilbert, J., Fedak, G. & Somers, D. J. (2005). Genetic characterization of QTL associated with resistance to Fusarium head blight in a doubled-haploid spring wheat population. *Genome*, 48, 187-196.
49. Zhonghu, H. & Rajaram, S. (1997). *China/CIMMYT collaboration on wheat breeding and germplasm exchange: results of 10 years of shuttle breeding (1984-94).* Wheat Program Special Report No. 46. CIMMYT, Mexico, D.F., Mexico.