ISSN: 2676-7309

Plant Genetic Researches

Volume 11, Issue 2 (2025)

Lorestan University

Research Article

http://dx.doi.org/10.22034/PGR.11.2.3

Analysis of Fusarium Head Blight (FHB) Resistance in Elite Wheat Lines from the North Warm and Humid Zone of Iran

Ali Malihipour[1,*], Mohammadali Dehghan[2] and Kamal Shahbazi[3]

1- Associate Professor, Cereal Research Department, Seed & Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Iran

2- Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

3- Assistant Professor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Parsabad, Iran

**Corresponding author* ✉: *a.malihipour@areeo.ac.ir*

Citation: **Malihipour, A., Dehghan, M. and Shahbazi, K.** (2025). Analysis of fusarium head blight (FHB) resistance in elite wheat lines from the north warm and humid zone of Iran. *Plant Genetic Researches*, **11(2):** 29-46. http://dx.doi.org/10.22034/PGR.11.2.3

(Received: October 21, 2024; Final Revised: December 06, 2024; Accepted: December 12, 2024; Published online: March 17, 2025)

Extended abstract

Introduction

Fusarium head blight (FHB), primarily inflicted by *Fusarium graminearum*, is a devastating wheat disease, particularly in regions where flowering coincides with warm and humid conditions. In addition to reducing crop yield, FHB poses significant threats to human and animal health as well as food safety due to the production of different types of mycotoxins in infected grains. In Iran, FHB is among the most significant wheat diseases in the North warm and humid regions, including Golestan and Mazandaran provinces as well as in the warm areas of Moghan in Ardabil province. However, under favorable weather conditions, the FHB disease can spread to other parts of Iran and potentially lead to epidemics. To this end, several methods, including agronomic, chemical, biological, and the use of resistant cultivars are employed for the FHB disease management. Among such methods, the use of resistant cultivars is considered the most practical, most economical, and environmentally sound method for sustainable control of the FHB disease. The first step in developing FHB disease-resistant wheat cultivars is to evaluate existing cultivars or breeding lines for their resistance to the FHB disease and to identify the most resistant genotypes. To this end, the response of 20 elite wheat lines from the North warm and humid zone of Iran along with the susceptible check cultivar Falat was evaluated for FHB disease resistance under field conditions in Gorgan, Golestan province and Moghan, Ardabil province, Iran in 2014-15 and in Moghan in 2015-16. In order to identify type II resistance in these lines, their response to the disease was also evaluated in the greenhouse in Karaj, Iran. Based on the results of this study, wheat lines with sufficient resistance to FHB were identified for use in breeding programs and potential release in the northern regions of Iran.

Materials and methods

Wheat genotypes in all the relevant field and greenhouse experiments were manually inoculated. The wheat lines were evaluated under field conditions in Gorgan and Moghan in 2014-2015 cropping season and in Moghan in 2015-2016 cropping season as a randomized complete block design (RCBD) with three replications. In this regard, wheat lines were sown on a 1.5-meter row in late fall (December) and the usual agricultural practices were performed until heading stage. As soon as each wheat line reached 50% flowering, it was inoculated by spraying with a suspension of spores of the pathogen (at 5×10^4 spores per milliliter of suspension) and it was repeated two days later. To enhance the disease development, mist irrigation was established in the nurseries. About three weeks after the first inoculation, disease incidence and severity were recorded for each line, and disease index was

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

calculated by dividing the product of disease incidence and severity by 100. Fusarium-damaged kernels (FDK) were also quantified by determining the ratio of the infected seeds to healthy seeds after grain harvest. To investigate the reaction of the wheat lines under greenhouse conditions (Karaj), an RCBD with three replications was also used. To do this, in mid-autumn 2015, eight to 10 seeds from each wheat line were sown in plastic pots (15 cm × 15 cm), containing a mixture of field soil (70%) and peat moss (30%). To promote seed germination, the pots were placed in a greenhouse at 25-30 ° C for one week. To promote tillering and the development of more and stronger spikes, the pots containing the seedlings were placed outdoors for two months under relatively cool conditions. They were then transferred to a greenhouse maintained at 25–30 °C. As soon as each spike from each wheat line reached 50% of flowering, plants were point-inoculated with 10 µl of the suspension of fungal spores (5×10^4 spores per ml of suspension). Three weeks post inoculation, the percentage of disease progress (disease severity) was quantified by determining the ratio of infected spikelets to total spikelets in each spike. The SAS software was used for the analysis of data recorded from the field and greenhouse expiriments.

Results and discussion

Combined analysis of variance of data for several datasets including disease incidence, disease severity, disease index, and FDK from three environments showed significant differences among the genotypes. Evaluation of the wheat genotypes revealed that the commercial wheat cultivar Morvarid, along with five lines, including N-93-6, N-93-12, N-93-15, N-93-18, and N-93-19 exhibited lower mean values for disease incidence, disease severity, disease index, and FDK under field conditions, as well as reduced disease severity in the greenhouse. These genotypes were therefore identified as more resistant to FHB. It seems that type I resistance in these wheat lines might have reduced the incidence of FHB disease. The results of present study demonstrated significant variation among traits based on the assessment of genetic parameters, including trait minimum, maximum, and mean values; environmental, genetic, and phenotypic variances; environmental, genetic, and phenotypic coefficients of variation; and broad-sense heritability. In terms of comparing the genetic and phenotypic coefficients of variation between different traits, FDK, disease incidence, and disease index had the highest coefficients of variation compared to the other traits including disease severity under field and greenhouse conditions. In addition, FDK had the highest ratio of genetic to phenotypic coefficient of variation. Finally, FDK and disease severity under field conditions had the highest values of broad-sense heritability,68 and 60 percent, respectively.

Conclusion

In the present study, high genetic and phenotypic coefficient of variations were observed for FDK, disease incidence, and disease index traits. Considering that the ratio of genetic coefficient of variation to phenotypic coefficient of variation for FDK was very high, it seems that this trait was mainly under genetic control. Despite the low genetic and phenotypic coefficients of variation observed for disease severity under field conditions, the high ratio between them indicates that the trait is largely governed by genetic factors. The high broad-sense heritability estimates for FDK and disease severity traits under field conditions provide further evidence of strong genetic control over these traits. In contrast, the relatively low ratio of genetic to phenotypic coefficients of variation for disease incidence and disease index traits may suggest a lesser contribution of genetic factors and a greater influence of environmental conditions on their performance.

Keywords: Fusarium-damaged kernels (FDK), Disease index, Disease incidence, Disease severity, Type II resistance, *Fusarium graminearum*

پژوهش‌های ژنتیک گیاهی
جلد ۱۱، شماره ۲، ۱۴۰۳
شاپا الکترونیکی: ۷۳۰۹-۲۶۷۶
دانشگاه لرستان
مقاله پژوهشی
http://dx.doi.org/10.22034/PGR.11.2.3

تجزیه و تحلیل مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در لاین‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور

علی ملیحی‌پور[۱،*]، محمدعلی دهقان[۲] و کمال شهبازی[۳]

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج
۲- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان
۳- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس‌آباد

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰؛ تاریخ آخرین ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۲؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷)

چکیده

بیماری بلایت فوزاریومی سنبله، عمدتاً ناشی از گونه قارچی *Fusarium graminearum*، یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم به‌ویژه در اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور است. در تحقیق حاضر، با هدف شناسایی و گزینش لاین‌های مقاوم به بیماری، تعداد ۲۰ لاین گندم امیدبخش مربوط به این اقلیم به‌همراه گندم رقم فلات به‌عنوان شاهد حساس به بیماری، طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در دو منطقه گرگان و مغان و سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در منطقه مغان بررسی شدند. همچنین، به‌منظور شناسایی مقاومت نوع II (مقاومت در برابر گسترش آلودگی) در این لاین‌ها، واکنش آن‌ها در برابر بیماری در شرایط گلخانه (کرج) نیز بررسی شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به میزان وقوع، شدت و شاخص بیماری و میزان آلودگی دانه به‌دست آمده از سه محیط آزمایشی مزرعه نشان داد که برای هر چهار صفت مذکور تفاوت معنی‌داری بین لاین‌های آزمایشی وجود داشت. ارزیابی واکنش لاین‌های آزمایشی نشان داد که شاهد تجاری مروارید به‌همراه پنج لاین N-93-6، N-93-12، N-93-15، N-93-18 و N-93-19 با داشتن میانگین وقوع، شدت و شاخص بیماری و آلودگی دانه پایین‌تر در مزرعه و شدت بیماری کمتر در گلخانه، از مقاومت بالاتری نسبت به بیماری برخوردارند. به‌نظر می‌رسد که وجود مقاومت نوع I (مقاومت در برابر آلودگی اولیه) در این لاین‌ها موجب کاهش بیماری در آن‌ها شده باشد. در این بررسی، نتایج اندازه‌گیری پارامترهای مختلف ژنتیکی تفاوت‌های زیادی را بین صفات مختلف نشان داد. از نظر مقایسه ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی بین صفات مختلف، سه صفت، دانه آلوده به فوزاریوم (FDK)، میزان وقوع بیماری و شاخص بیماری در مقایسه با دو صفت دیگر یعنی شدت بیماری در شرایط مزرعه و گلخانه دارای بیشترین ضریب تنوع و از بین آن‌ها صفت FDK دارای بالاترین نسبت ضریب تنوع ژنتیکی به ضریب تنوع فنوتیپی بود. درنهایت یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که دو صفت FDK و شدت بیماری در مزرعه دارای وراثت‌پذیری عمومی بالا (به‌ترتیب ۶۸ و ۶۰ درصد) و بقیه صفات دارای وراثت‌پذیری پایین‌تری بودند.

واژگان کلیدی: آلودگی دانه، شاخص بیماری، شدت بیماری، مقاومت نوع II، وقوع بیماری، *Fusarium graminearum*

* نویسنده مسئول، آدرس پست الکترونیکی: a.malihipour@areeo.ac.ir

مقدمه

بیماری بلایت فوزاریومی سنبله (Fusarium head blight) که توسط گونه‌های مختلف قارچ *Fusarium* و عمدتاً توسط گونه *Fusarium graminearum* ایجاد می‌شود، یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در مناطقی از جهان است که گلدهی گندم با آب و هوای گرم و مرطوب مصادف می‌شود. این بیماری علاوه بر کاهش قابل‌توجه عملکرد محصول، به‌علت تولید چند نوع مایکوتوکسین (Mycotoxin) از جمله دی‌اوکسی‌نیوالنول (Deoxynivalenol) و زیرالنون (Zearalenone) در دانه‌های آلوده، برای بهداشت انسان و دام و سلامت مواد غذایی نیز تهدید کننده است (Hatami *et al*., 2024; Taghikhani *et al*., 2018; Shah *et al*., 2018; Parry *et al*., 1995; McMullen *et al*., 1997; Bai and Shaner, 2004). در چند دهه اخیر همه‌گیری‌های گسترده‌ای از این بیماری در مناطق مختلف جهان روی داده است. این موضوع عمدتاً به تغییرات در شیوه‌های کشاورزی یعنی افزایش سطح زیرکشت گندم، فراوانی استفاده از گندم در تناوب زراعی و نظام خاک‌ورزی صفر ارتباط داده می‌شود (Dill-Macky and Jones, 2000; Miller *et al*., 1998). مطالعات نشان داده‌اند که کشت مداوم گندم یا کشت گندم در تناوب با ذرت به‌طور معنی‌داری وقوع و شدت بیماری بلایت فوزاریومی سنبله را افزایش می‌دهند (Kelly *et al*., 2015; Tillmann *et al*., 2017). در سیستم تناوب زراعی گندم–ذرت، وقوع بلایت فوزاریومی سنبله گندم و نیز پوسیدگی فوزاریومی ساقه ذرت (Fusarium Maize stalk rot) و پوسیدگی بلال (Ear rot) به مرور زمان افزایش می‌یابد (Xi *et al*. 2021; Zhang *et al*., 2016). علاوه‌بر این، بروز همه‌گیری این بیماری همیشه با شرایط آب و هوایی به ویژه روزهای بارانی همراه با دمای بالا در زمان گلدهی و فراوانی مایه تلقیح اولیه ارتباط دارد (Dill-Macky and Jones, 2000; Obanor *et al*., 2013; Shah *et al*., 2019; Torres *et al*., 2019).

این بیماری یکی از مهمترین بیماری‌های گندم در ایران است که در مناطق شمالی کشور و نیز در منطقه مغان در استان اردبیل شایع است. از اوایل دهۀ ۱۳۷۰ تاکنون، بیماری هر چند سال یک‌بار در این مناطق به‌صورت همه‌گیر در آمده است (Malihipour, 2022). بیماری در صورت مساعد بودن شرایط جوی می‌تواند در هر منطقه دیگر از کشور نیز شایع شود. در این ارتباط، می‌توان به همه‌گیری غیرمعمول بیماری در برخی مناطق استان هرمزگان در سال ۱۳۷۵و خسارت بیماری در برخی مزارع جیرفت واقع در استان کرمان در سال ۱۳۷٦ اشاره کرد (Malihipour, 2022). بیماری بلایت فوزاریومی سنبله علاوه بر ایران، در بسیاری دیگر از مناطق جهان از جمله در آمریکا، کانادا، چین و برخی کشورهای اروپایی و آمریکای جنوبی نیز تهدیدی برای تولید گندم به‌شمار می‌رود. (Wood *et al*., 1999; Gilbert and Haber, 2013; Bolanos-Carriel *et al*., 2016; Chen, 2016).

برای مدیریت بیماری بلایت فوزاریومی سنبله روش‌های مختلفی شامل روش‌های زراعی، شیمیایی، بیولوژیکی و استفاده از رقم‌های مقاوم ذکر شده‌اند. نخستین گام برای تولید رقم‌های مقاوم به بیماری، مقایسۀ ارقام و لاین‌های مختلف گندم از نظر مقاومت به بیماری و شناسایی منابع مقاومت به آن است. نتایج پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهند که هیچ گندمی در برابر این بیماری مصون نیست، گندم‌های مقاوم به بیماری معدودند اما بیشتر ژنوتیپ‌ها حساس‌اند (Bai and Shaner, 2004). در ایران نیز از اوایل دهه ۱۳۷۰ تاکنون، ارزیابی تمامی ارقام و لاین‌های آزمایشی اقلیم گرم و مرطوب شمال نسبت به این بیماری به‌عنوان بخشی از برنامه‌های به‌نژادی گندم بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در دستور کار بوده است. در این راستا، تاکنون هزاران لاین و رقم گندم تولید شده در کشور یا دریافتی از منابع خارجی از نظر مقاومت به این بیماری بررسی و از بین آن‌ها مواد مقاوم به بیماری انتخاب شده‌اند. نتیجه این اقدامات معرفی ارقام با مقاومت مطلوب در برابر بیماری بوده است. از جدیدترین این ارقام می‌توان به دو رقم با مقاومت بالا، با نام‌های آراز و آرمان که در سال ۱۳۹۹ معرفی شده‌اند، رقم با مقاومت بینابین با نام معراج که در سال ۱۳۹۷ معرفی شده است و دو رقم دیگر با مقاومت بالا با نام‌های احسان و تیرگان اشاره کرد که در سال ۱۳۹٦ معرفی شده‌اند (Malihipour *at al*., 2020).

با توجه به مطالب ذکر شده، پژوهش حاضر با هدف تجزیه و تحلیل مقاومت به بیماری در تعدادی از لاین‌های گندم

امیدبخش اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور انجام شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، لاین‌های با مقاومت کافی در برابر این بیماری به‌منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی اقلیم مذکور و احتمال معرفی آن‌ها در سطح این اقلیم پیشنهاد شدند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: در تحقیق حاضر، تعداد ۲۰ لاین گندم مربوط به اقلیم گرم و مرطوب شمال به‌همراه رقم فلات به‌عنوان شاهد حساس به بیماری مورد استفاده و آزمایش قرار گرفتند (جدول ۱). از بین لاین‌های آزمایشی مذکور، دو شماره N-93-1 و N-93-2 به‌ترتیب ارقام شاهد تجاری مروارید و گنبد هستند که در زمان اجرای تحقیق حاضر در اقلیم گرم و مرطوب کشت می‌شدند.

تهیهٔ مایهٔ تلقیح بیماری: برای تهیهٔ مایهٔ تلقیح بیماری به‌منظور انجام مایه‌زنی خزانه‌های آزمایشی در دو منطقهٔ گرگان و مغان، مخلوط پنج جدایهٔ قارچ عامل بیماری (*F. graminearum*) گردآوری شده از هر منطقه در نظر گرفته شدند. مخلوط جدایه‌های جمع‌آوری شده از گرگان، برای انجام مایه‌زنی‌های گلخانه‌ای نیز مورد استفاده قرار گرفتند. تهیهٔ مایهٔ تلقیح با استفاده از روش تعدیل‌شدهٔ وگنر (Wegener, 1992) انجام شد. برای این منظور، در ارلن‌های به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر میزان ۵ گرم کاه گندم آسیاب شده به‌همراه ۱۲۵ میلی‌لیتر آب لوله‌کشی شهری ریخته شده و به فاصلهٔ ۲۴ ساعت دو بار در اتوکلاو استریل شد. پس از این مرحله، قطعه‌های کوچکی به قطر حدود ۵-۳ میلی‌متر از محیط‌های کشت سیب‌زمینی دکستروز آگار (PDA) که حدود ده روز پیش جدایه‌های مورد نظر قارچ عامل بیماری به‌طور جداگانه روی آن‌ها کشت داده شده بودند، برداشته و درون ارلن‌ها ریخته شدند. سپس، ارلن‌ها روی شیکر دورانی با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای ۳۰-۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد 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 پارچهٔ باقی‌مانده و اسپورهای بدون بقایا در ظرف دیگری گردآوری شوند. در نهایت، غلظت اسپورها بسته به هر روش مایه‌زنی به حد مطلوب رسانده شده و برای مایه‌زنی‌های مربوطه استفاده شدند.

ارزیابی مزرعه‌ای: لاین‌های آزمایشی در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی گرگان (عراقی-محله) و مغان و سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان که در مناطق مستعد برای شیوع بیماری بلایت فوزاریومی سنبله واقع هستند، مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به این امر، سه محیط آزمایشی شامل گرگان (سال اول)، مغان (سال اول) و مغان (سال دوم) برای اجرای آزمایش‌ها در نظر گرفته شدند. برای اجرای آزمایش‌ها، در فصل کاشت (اواخر پاییز)، هرکدام از لاین‌های آزمایشی روی یک خط ۱/۵ متری کاشته شده و عملیات معمول داشت (آبیاری، کوددهی، مدیریت علف‌های هرز و ...) به‌منظور رساندن گیاهان به مرحلهٔ سنبله‌دهی انجام شد. به‌محض آنکه هر لاینی به ۵۰ درصد گل-دهی رسید، اقدام به مایه‌زنی سنبله‌های آن از طریق اسپورپاشی با سوسپانسیون اسپورهای قارچ عامل بیماری (در غلظت ۵×۱۰^{۴} اسپور در هر میلی‌لیتر از سوسپانسیون) با استفاده از سمپاش ۲۵ لیتری موتوردار چینی مدل آوشنگ (Aosheng) در گرگان و سمپاش ۲۰ لیتری دستی چینی مدل تسلا (Tesla) در مغان صورت گرفت؛ طوری که سنبله‌های مایه‌زنی شده کاملاً خیس شدند. عملیات مذکور دو روز بعد تکرار شد. برای کمک به توسعهٔ بیماری، آبیاری مه‌پاش (میست) در خزانه‌های آزمایشی برقرار شد. حدود سه هفته پس از نخستین اسپورپاشی، یادداشت‌برداری از بیماری شامل میزان وقوع (Disease incidence) و شدت بیماری (Disease severity) انجام شد. میزان وقوع بیماری از طریق محاسبه درصد سنبله‌های آلوده در هر خط کاشت و شدت بیماری بر اساس مقیاس ۱۰۰-۰ درصد به‌صورت مشاهده‌ای برای هر خط کاشت تعیین گردید. همچنین، شاخص بیماری (Disease index) هر لاین با تقسیم کردن حاصل‌ضرب میزان وقوع در شدت بیماری بر عدد ۱۰۰ محاسبه شد. افزون بر آن، پس از برداشت بوته‌های هر خط کاشت، کوبیدن آن‌ها و نمونه‌برداری از دانه‌های به‌دست آمده، اقدام به شمارش دانه‌های آلوده و سالم و تعیین درصد دانه‌های آلوده به بیماری برای هر لاین گردید.

جدول ۱- جزئیات لاین‌های آزمایشی مورد استفاده در بررسی حاضر به‌همراه شاهدهای مربوطه

Table 1. Details of wheat genetic lines evaluated along with their corresponding checks

شماره رقم/لاین Line code /cultivar	نام/شجره Name/pedigree
N-93-1	Morvarid (Commercial check)
N-93-2	Gonbad (Commercial check)
N-93-3	UP2338*2/KKTS*2//YANAC
N-93-4	UP2338*2/KKTS*2//YANAC
N-93-5	ATTILA*2/PBW65*2/4/BOW/NKT//CBRD/3/CBRD
N-93-6	KAUZ//ALTAR84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/HUITES/7/CAL/NH//H567.71/3/SERI/4/CAL/NH//H567.71/5/2*KAUZ/6/PASTOR
N-93-7	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/PARUS/6/FRET2*2/KUKUNA
N-93-8	ATTILA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/7/ATTILA/2*PASTOR
N-93-9	CHAPIO/3/BORL95/2*EXCALIBUR//EXCALIBUR
N-93-10	ATTILA*2/PBW65//TNMU
N-93-11	ATTILA*2/PBW65//TNMU
N-93-12	ATTILA*2/PBW65//TNMU
N-93-13	MUNAL #1
N-93-14	WBLL1/KUKUNA//TACUPETO F2001/3/UP2338*2/VIVITSI
N-93-15	KACHU/SAUAL
N-93-16	SAUAL/3/MILAN/S87230//BAV92
N-93-17	SAUAL/3/MILAN/S87230//BAV92
N-93-18	SAUAL/3/MILAN/S87230//BAV92
N-93-19	FRET2/KUKUNA//FRET2/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ
N-93-20	FRET2/KUKUNA//FRET2/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ
21	Falat (Susceptible check)

ارزیابی گلخانه‌ای: برای بررسی واکنش لاین‌های آزمایشی در شرایط گلخانه (کرج)، نیز از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. برای انجام این بررسی، اواسط پاییز ۱۳۹٤ گلدان‌های آزمایشی به قطر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که با مخلوط خاک معمولی و پیت ماس (به‌ترتیب به نسبت ۷۰ درصد خاک معمولی و ۳۰ درصد پیت ماس) پر شده بودند، به عنوان واحدهای آزمایشی در نظر گرفته شدند و تعداد ۱۰-۸ بذر از هر کدام از لاین‌های آزمایشی در آن‌ها کاشته شدند. گلدان‌های حاوی بذر به‌مدت یک هفته در گلخانه با دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا سبز شوند. به‌منظور رشد گیاهچه‌ها در دمای نسبتاً سرد و پنجه‌زنی بهتر آن‌ها با هدف تولید سنبله‌های بیشتر و قوی‌تر، گلدان‌های حاوی گیاهچه‌ها در فضای بیرون گلخانه‌ها قرار داده شدند. حدود یک هفته بعد اقدام به تنک کردن گیاهچه‌ها و رساندن تعداد آن‌ها به شش گیاهچه در هر گلدان شد. دو ماه بعد از رشد گیاهچه‌ها در فضای آزاد اقدام به انتقال آن‌ها به گلخانه با دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد گردید تا به سنبله بروند. به‌محض آن‌که هر سنبله از هر لاین به ۵۰ درصد گل‌دهی خود رسید، اقدام به مایه‌زنی نقطه‌ای آن با ۱۰ میکرولیتر از سوسپانسیون اسپورهای قارچ عامل بیماری (در غلظت ۵×۱۰^{٤} اسپور در هر میلی‌لیتر از سوسپانسیون) با استفاده از سمپلر شد. سه هفته بعد از مایه‌زنی هر سنبله، درصد پیشرفت بیماری (شدت بیماری) در آن از طریق تعیین نسبت سنبلچه‌های آلوده به کل سنبلچه‌های سنبله تعیین گردید. سپس اقدام به میانگین‌گیری از میزان درصد بیماری سنبله‌های مایه‌زنی شده برای هر گلدان (تکرار) گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: به‌منظور تجزیه داده‌های جمع‌آوری شده از مزرعه و گلخانه و مقایسه میانگین بیماری لاین‌های آزمایشی، از نرم‌افزار SAS (SAS Institute Inc., Raleigh, NC, USA) استفاده شد. قبل از انجام تجزیه واریانس، با استفاده از رویه PROC UNIVARIATE، آزمون صحت توزیع نرمال داده‌ها انجام شد و در صورت رعایت نشدن پیش‌فرض، به منظور نرمال‌سازی توزیع داده‌ها از تبدیل داده آرکسینوس (arcsine) استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از رویه PROC GLM و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. با توجه به اینکه، داده‌های به‌دست آمده از اجرای آزمایش در چند محیط بود، از

تجزیه واریانس مرکب برای تجزیه و تحلیل آن‌ها استفاده شد. در مدل آماری مربوطه، اثر ژنوتیپ ثابت (Fixed) و اثر محیط تصادفی (Random) در نظر گرفته شد. در مدل آماری مربوط به تجزیه ساده داده‌های گلخانه‌ای نیز اثر ژنوتیپ ثابت در نظر گرفته شد. امید ریاضی میانگین مربعات (Yazdi-Samadi *et al.*, 2006) برای انجام تجزیه واریانس مدنظر قرار گرفت و پارامترهای ژنتیکی مربوطه با در نظر گرفتن امید ریاضی میانگین مربعات مذکور و با استفاده از فرمول‌های آورده شده در جدول ۲ محاسبه شدند. در بررسی حاضر، رتبه‌بندی لاین‌های آزمایشی براساس نتایج مقایسهٔ میانگین برای صفات مختلف با استفاده از روش کتاتا و همکاران (Ketata *et al.*, 1989) انجام گرفت. به این صورت که در ابتدا رتبه‌بندی لاین‌ها بر پایهٔ مقایسهٔ میانگین آن‌ها برای هر کدام از صفات به‌طور جداگانه انجام گرفت و سپس با جمع‌کردن رتبهٔ اکتسابی هر لاین برای صفات مختلف و میانگین‌گیری از آنها، اقدام به تعیین رتبهٔ نهایی هر لاین شد.

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، از طریق ارزیابی واکنش لاین‌های گندم آزمایشی نسبت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در شرایط مزرعه و گلخانه، داده‌های قابل توجه و مطلوبی جهت مقایسه مواد آزمایشی در برابر بیماری به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده برای مواد گفته شده، به شرح زیر می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه لاین‌های آزمایشی در شرایط مزرعه: بررسی واکنش لاین‌های آزمایشی در سه محیط اجرای آزمایش در شرایط مزرعه و تجزیه مرکب داده‌های مربوط به میزان وقوع بیماری به‌دست آمده از آن‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثرهای هر یک از دو عامل محیط و ژنوتیپ روی میزان وقوع بیماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف این دو عامل وجود دارد. در هر حال، اثر متقابل این دو عامل روی میزان وقوع بیماری معنی‌دار نبود. برای نشان دادن اثر محیط روی میزان وقوع بیماری، که بیانگر مناسب‌تر بودن یا نامناسب‌تر بودن یکی از محیط‌های آزمایشی برای بروز این صفت است، با محاسبه و مقایسه میانگین وقوع بیماری در سه محیط آزمایشی مشخص شد که منطقه گرگان در سال اول اجرای آزمایش دارای بالاترین میانگین و مغان در همان سال دارای پایین‌ترین میانگین وقوع بیماری بوده است (داده‌ها نشان داده نشده‌اند).

از نظر مقایسه میانگین وقوع بیماری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی به‌دست آمده از سه محیط مورد آزمایش، پایین‌ترین میزان وقوع بیماری در این بررسی در لاین N-93-1 (شاهد تجاری مروارید) به میزان ٤/٧ درصد مشاهده شد. سه لاین آزمایشی N-93-12، N-93-19 و N-93-15 به‌ترتیب با میانگین وقوع بیماری ١٨/٤، ١٩/٤ و ٢٠/٣ درصد بعد از رقم مروارید در جایگاه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند و بالاترین میزان وقوع بیماری هم در شاهد حساس فلات به میزان ٥٠/٣ درصد مشاهده شد (جدول ٦). همچنین، لاین N-93-2 (شاهد تجاری گنبد) با داشتن میانگین وقوع بیماری ٢٦/٧ درصد، توانست جایگاه یازدهم را به‌دست آورد (جدول ٦).

تجزیه داده‌های مربوط به میزان شدت بیماری (جدول ٣) نشان داد که همانند میزان وقوع بیماری، اثرات محیط و ژنوتیپ روی شدت بیماری در سطح احتمال ١ درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل این دو روی این صفت غیرمعنی‌دار است. در ارتباط با اثر محیط روی این صفت، منطقه مغان در سال دوم اجرای آزمایش بالاترین میانگین شدت بیماری را دارا بوده و پس از آن به‌ترتیب دو منطقه مغان و گرگان در سال اول اجرای آزمایش قرار داشتند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). از نظر مقایسه میانگین شدت بیماری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی به‌دست آمده از سه محیط آزمایشی مذکور، رقم تجاری مروارید (شاهد) پایین‌ترین میانگین شدت بیماری (٥٤ درصد) را به خود اختصاص داد. سه لاین آزمایشی N-93-15، N-93-6 و N-93-12 به‌ترتیب با میانگین شدت بیماری ٦٩/٩، ٧٢/٥ و ٧٣/٨ درصد در جایگاه‌های بعدی و لاین آزمایشی N-93-3 با دارا بودن میانگین شدت بیماری ٨٨/١ درصد به‌عنوان حساس‌ترین لاین آزمایشی (حتی حساس‌تر از شاهد حساس فلات) تعیین گردید (جدول ٦). شاهد تجاری گنبد هم با میانگین شدت بیماری ٧٧/٩ درصد، از نظر میزان مقاومت جایگاه نهم را به خود اختصاص داد (جدول ٦).

جدول ۲- فرمول‌های مورد استفاده برای محاسبه پارامترهای ژنتیکی

Table 2. Formulae used for computation of genetic parameters

پارامتر ژنتیکی Genetic parameter	فرمول Formula
واریانس محیطی (تجزیه واریانس مرکب) Environmental variance (Combined ANOVA)	$V_E = \frac{MS_E - MS_{\alpha}*}{rt}$
واریانس ژنتیکی (تجزیه واریانس مرکب) Genetic variance (Combined ANOVA)	$V_G = \frac{MS_G - MS_{EG}*}{re}$
واریانس محیطی (تجزیه واریانس ساده) Environmental variance (Simple ANOVA)	$V_E = \frac{MS_e*}{r}$
واریانس ژنتیکی (تجزیه واریانس ساده) Genetic variance (Simple ANOVA)	$V_G = \frac{MS_G - MS_e}{r}$
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	$V_P = V_E + V_G$
ضریب تنوع محیطی Environmental coefficient of variation	$CV_E = \frac{\sqrt{V_E}}{\bar{X}} \times 100^*$
ضریب تنوع ژنتیکی Genetic coefficient of variation	$CV_G = \frac{\sqrt{V_G}}{\bar{X}} \times 100$
ضریب تنوع فنوتیپی Phenotypic coefficient of variation	$CV_P = \frac{\sqrt{V_P}}{\bar{X}} \times 100$
وراثت‌پذیری Heritability	$H^2 = \frac{V_G}{V_P}$

*MS_E = میانگین مربعات محیط، MS_{α} = میانگین مربعات خطای نوع اول، r = تعداد تکرار، t = تعداد تیمار (ژنوتیپ)، MS_G = میانگین مربعات ژنوتیپ، MS_{EG} =میانگین مربعات محیط x ژنوتیپ، e = تعداد محیط، MS_e = میانگین مربعات خطا و $\bar{X}$ = میانگین کل برای هر صفت.

* MS_E = Mean squares of environment, MS_{α} = Mean squares of type I error, r = number of replications, t = number of treatments (genotypes), MS_G = Mean squares of genotypes, MS_{EG} = Mean squares of environment x genotype, e = number of environments, MSe = Mean squares of error, and $\bar{X}$ = Grand mean for each trait.

براساس نتایج حاصل از تجزیه داده‌های مربوط به شاخص بیماری (جدول ۳) مشخص شد که همانند میزان وقوع و شدت بیماری، از نظر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد هم بین محیط‌های آزمایشی و هم ژنوتیپ‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری وجود دارد ولی اثر متقابل محیط × ژنوتیپ روی شاخص بیماری معنی‌دار نیست. در ارتباط با اثر محیط روی این صفت، با محاسبه و مقایسه میانگین شاخص بیماری در سه محیط آزمایشی مشخص شد که همانند صفت وقوع بیماری، منطقه گرگان در سال اول اجرای آزمایش دارای بالاترین و منطقه مغان در همان سال دارای پایین‌ترین مقادیر شاخص بیماری بودند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). با توجه به اینکه شاخص بیماری، که خود از حاصل ضرب دو متغیر وقوع در شدت بیماری تقسیم بر عدد ۱۰۰ به‌دست می‌آید، از نظر انتخاب ارقام و لاین‌های آزمایشی بسیار مهم بوده و استفاده از آن در برنامه‌های اصلاحی گندم عملی‌تر است، مقایسه میانگین این شاخص برای ژنوتیپ‌های آزمایشی که به روش دانکن در سطح احتمال ۱ درصد بر روی داده‌های به‌دست آمده از سه محیط مورد آزمایش صورت گرفت، در جدول ٤ ارائه شده است. همان‌طوری که در این جدول مشاهده می‌شود، شاهد تجاری مروارید با داشتن پایین‌ترین میانگین شاخص بیماری (۲/۵ درصد) در گروه D، شاهد حساس فلات با بالاترین میانگین شاخص بیماری (۳٦/۷ درصد) در گروه A و سایر ژنوتیپ‌ها با داشتن میانگین شاخص‌های بیماری بین این دو، در سایر گروه‌های بین آن‌ها قرار گرفته‌اند. بعد از رقم مروارید، لاین آزمایشی N-93-12 با داشتن میانگین شاخص بیماری ۱۳ درصد در گروه C و سپس چهار لاین آزمایشی N-93-15، N-93-19، N-93-6 و N-93-20 به‌ترتیب با میانگین‌های شاخص بیماری ۱٤/۲، ۱٤/٦، ۱۵/۷

و ۱۶/۷ درصد همگی در گروه BC قرار گرفته‌اند. براساس این صفت، شاهد تجاری گنبد با میانگین شاخص بیماری ۲۰/۷ درصد از نظر مقاومت به بیماری دوباره در جایگاه نهم (گروه ABC) قرار گرفته است.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب داده‌های مرتبط با مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به‌دست آمده از واکنش لاین‌های گندم آزمایشی نسبت به بیماری در شرایط مزرعه*

Table 3. Combined analysis of variance on Fusarium head blight resistance data collected from the field-based assessment of wheat genetic lines

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mmeans of squares			
		وقوع بیماری Disease incidence	شدت بیماری Disease severity	شاخص بیماری Disease index	دانه آلوده به فوزاریوم Fusarium-damaged kernels (FDK)
محیط Environment	2	2.0528**	0.2626ns	1.4733**	0.4324**
خطای نوع اول Type I error	6	0.0587	0.1234	0.0784	0.0119
ژنوتیپ Genotype	20	0.1139**	0.0587**	0.1003**	0.0536**
ژنوتیپ × محیط Genotype × Environment	40	0.0207ns	0.0288ns	0.0219ns	0.0109ns
خطای نوع دوم Type II error	120	0.0175	0.0231	0.0166	0.0076
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		23.98	14.05	27.06	28.83

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and**: Non-significant and significant at 1% probability level, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین و گروهبندی شاخص بیماری بلایت فوزاریومی سنبله لاین‌های گندم آزمایشی نسبت به بیماری در شرایط مزرعه (دانکن درسطح احتمال ۱ درصد)

Table 4. Mean comparison and genotype ranking of Fusarium head blight index under field conditions (Duncan's test, α = 1%)

نام رقم/لاین Name of cultivar/line	میانگین شاخص بیماری (٪)* Mean disease index	گروه‌بندی Ranking
21 (Falat, Susceptible check)	36.7	A
N-93-3	32.4	AB
N-93-7	30.4	ABC
N-93-4	29.1	ABC
N-93-8	27.4	ABC
N-93-13	27.0	ABC
N-93-5	26.5	ABC
N-93-16	24.8	ABC
N-93-14	21.7	ABC
N-93-11	21.7	ABC
N-93-17	21.3	ABC
N-93-18	21.2	ABC
N-93-2 (Gonbad, Commercial check)	20.7	ABC
N-93-10	18.3	ABC
N-93-9	18.0	ABC
N-93-20	16.7	BC
N-93-6	15.7	BC
N-93-19	14.6	BC
N-93-15	14.2	BC
N-93-12	13.0	C
N-93-1 (Morvarid, Commercial check)	2.5	D

* میانگین شاخص بیماری که بر روی آن تبدیل داده به‌روش آرکسینوس انجام شده بود، در اینجا جهت درک بهتر داده‌ها به مقادیر اصلی خود برگردانده شده است.

* The mean disease index values, initially transformed using the arcsine method, were back-transformed to their original values for a clearer interpretation.

تجزیه داده‌های مربوط به آلودگی دانه‌های گندم (جدول ۳) نشان داد که همانند سایر صفات مورد بررسی، اثرات هر یک از دو عامل محیط و ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل محیط × ژنوتیپ روی آن غیرمعنی‌دار است. در ارتباط با اثر محیط روی این صفت، منطقه مغان در سال دوم اجرای آزمایش بالاترین و همین منطقه در سال اول اجرای آزمایش پایین‌ترین مقادیر آلودگی به دانه را داشت (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). از نظر مقایسه میانگین آلودگی دانه بین ژنوتیپ‌های آزمایشی، شاهد تجاری مروارید دارای کمترین میزان آلودگی به دانه (۱/٤ درصد)، سه لاین آزمایشی N-93-19، N-93-15 و N-93-20 به‌ترتیب با میانگین آلودگی ٤/٥، ٥/٢ و ٥/٦ درصد بعد از مروارید در جایگاه‌های دوم تا چهارم و شاهد حساس فلات دارای بالاترین میزان آلودگی دانه (۲۲/۳ درصد) بود (جدول ٦). شاهد تجاری گنبد هم با داشتن میانگین آلودگی دانه ۱۲/۱ درصد، از نظر مقاومت به آلودگی دانه توانست جایگاه هفدهم را به‌دست آورد (جدول ٦).

تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه لاین‌های آزمایشی در شرایط گلخانه: تجزیه ساده داده‌های مربوط به میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های مایه‌زنی شده (شدت بیماری) در شرایط کنترل شده گلخانه (جدول ٥) نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی وجود ندارد. مقایسه میانگین میزان شدت بیماری به روش دانکن در سطح احتمال ۱ درصد هم نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی وجود نداشته و همه آن‌ها در گروه A قرار دارند (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). با این وجود، لاین آزمایشی N-93-6 با میانگین شدت بیماری ٦٦/١ درصد، دارای پایین‌ترین میزان بیماری، شاهد حساس فلات دارای میانگین بیماری ٦٧/٧ درصد و سه لاین آزمایشی N-93-9، N-93-20 و N-93-3 هر کدام با میانگین بیماری ۱۰۰ درصد دارای بالاترین میزان بیماری بودند (جدول ٦). همچنین، دو شاهد تجاری مروارید و گنبد به ترتیب با میانگین‌های شدت بیماری ٩٤/٨ و ٩٩/٢٨ درصد به‌ترتیب جایگاه‌های دوازدهم و هفدهم را از بین ۲۱ ژنوتیپ آزمایشی به خود اختصاص دادند (جدول ٦).

جدول ٥- تجزیه واریانس ساده داده‌های مربوط به میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های مایه‌زنی شده (شدت بیماری) به‌دست آمده از واکنش لاین‌های گندم آزمایشی در برابر بیماری بلایت فوزاریومی در شرایط کنترل شده گلخانه

Table 5. Simple analysis of variance for disease progress data in inoculated spikes (disease severity) collected from the response of experimental wheat genetic lines to Fusarium head blight under controlled conditions in the greenhouse

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Means of squares
بلوک Block	2	0.1396^{ns}
ژنوتیپ Genotype	20	0.0936^{ns}
خطا Error	32	0.0800
کل Total	54	-
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	21.40	

^{ns}: غیرمعنی‌دار (^{ns}: Non-significant)

رتبه‌بندی لاین‌های آزمایشی: در تحقیق حاضر، با توجه به چهار صفت مهم شامل میزان وقوع بیماری در شرایط مزرعه که نشان دهنده مقاومت نوع I است، میزان پیشرفت بیماری در سنبله مایه‌زنی شده (شدت بیماری) در شرایط گلخانه که نشان دهنده مقاومت نوع II است، شاخص بیماری در مزرعه که نمایانگر ترکیب مقاومت نوع I و نوع II در گیاه است و میزان آلودگی دانه به فوزاریوم (FDK) که نشان دهنده مقاومت نوع IV است، رتبهٔ هر لاین آزمایشی با توجه به هرکدام از این صفات و نیز با توجه به میانگین‌گیری از رتبه‌های به‌دست آمده از این صفات تعیین گردید (جدول ٦). براین اساس، پنج لاین آزمایشی N-93-1 (شاهد تجاری مروارید)، N-93-6، N-93-12، N-93-19 و N-93-15 به‌ترتیب با کسب میانگین رتبه‌های ۳/۳، ٤/٥، ٥/٣، ٥/٥ و ٥/٨، به‌عنوان برترین لاین‌ها از بین ۲۰ لاین مورد بررسی شناسایی شدند. انحراف معیار لاین‌های مذکور به استثنای لاین N-93-12 برای رتبه‌های اکتسابی گفته شده نیز بسیار پایین و در دامنهٔ ۲/۱۷ تا ٤/۳۹ قرار

داشت. با توجه به بالا بودن انحراف معیار لاین N-93-12، می‌توان لاین N-93-18 را که دارای میانگین رتبه ۷/۸ و انحراف معیار ۲/۲۵ است، به عنوان ششمین لاین منتخب در نظر گرفت. در این بررسی، لاین آزمایشی N-93-3 با کسب بالاترین میانگین رتبه (۱۸/۳) به‌عنوان حساس‌ترین لاین شناخته شد.

مقایسه پارامترهای ژنتیکی: نتایج اندازه‌گیری پارامترهای مختلف ژنتیکی شامل حداقل، حداکثر و میانگین صفات همراه با واریانس محیطی، واریانس ژنتیکی، واریانس فنوتیپی، ضریب تنوع محیطی، ضریب تنوع ژنتیکی، ضریب تنوع فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی، تفاوت‌های زیادی را بین صفات مختلف نشان داد (جدول ۷). در این ارتباط، میزان وقوع بیماری متغیر از ٤/٧ تا ٥٠/٣ و میانگین آن ٢٧/٤، شدت بیماری در مزرعه متغیر از ٥٤/٠ تا ٨٨/١ و میانگین آن ٧٧/٩، شاخص بیماری متغیر از ٢/٥ تا ٣٦/٧ و میانگین آن ٢٠/٩، دانه آلوده به فوزاریوم (FDK) متغیر از ١/٤ تا ٢٢/٣ و میانگین آن ٨/٩ و شدت بیماری در شرایط گلخانه متغیر از ٦٦/١ تا ١٠٠ و میانگین آن ٩٣/٩ به‌دست آمد. همچنین، در حالی‌که واریانس ژنتیکی میزان وقوع و شاخص بیماری در مزرعه و شدت بیماری در گلخانه کمتر از واریانس محیطی آن‌ها بود، واریانس ژنتیکی شدت بیماری و دانه آلوده به فوزاریوم (FDK) در شرایط مزرعه بیشتر از واریانس محیطی آن‌ها بود. از نظر مقایسه واریانس فنوتیپی، به‌ترتیب میزان وقوع بیماری، شدت بیماری در گلخانه، شاخص بیماری، دانه آلوده به فوزاریوم (FDK) و شدت بیماری در مزرعه بالاترین تا پایین‌ترین واریانس را به نمایش گذاشتند. همچنین، از نظر مقایسه ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی بین صفات مختلف، سه صفت دانه آلوده به فوزاریوم (FDK)، میزان وقوع بیماری و شاخص بیماری در مقایسه با دو صفت دیگر بیشترین ضرایب تنوع را نشان دادند. ضریب تنوع فنوتیپی برای سه ویژگی مذکور به‌ترتیب ٤٧/٦٧، ٣٧/٢٥ و ٣٦/٩٣ درصد و برای دو ویژگی‌های دیگر شامل شدت بیماری در گلخانه و مزرعه به‌ترتیب ١٣/٣٦ و ٦/٨٦ به‌دست آمد. نسبت ضریب تنوع ژنتیکی به ضریب تنوع فنوتیپی برای دانه آلوده به فوزاریوم (FDK) از همه صفات دیگر بالاتر بود. در نهایت از نظر وراثت‌پذیری عمومی، دو صفت دانه آلوده به فوزاریوم (FDK) و شدت بیماری در مزرعه دارای وراثت‌پذیری بالا (به‌ترتیب ٦٨ و ٦٠ درصد) و بقیه صفات دارای وراثت‌پذیری پایین‌تری بودند.

براساس نتایج به‌دست آمده از بررسی حاضر، سطح بالایی از بیماری در خزانه‌های آزمایشی ایجاد شد و لاین‌های آزمایشی گندم در شرایط مطلوبی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. در هر حال، در قریب به اتفاق موارد، از نظر صفات مورد بررسی برای ارزیابی لاین‌های آزمایشی در شرایط مزرعه، بین سه محیط مورد استفاده، تفاوت‌های معنی‌داری وجود داشت و در بیشتر موارد سطح بیماری در مغان در سال دوم اجرای آزمایش بالاترین مقدار و در همان منطقه در سال اول اجرای آزمایش پایین‌تر از بقیه بود. این امر می‌تواند به عوامل مختلفی مرتبط باشد، اما شرایط آب و هوایی در زمان اجرای آزمایش در منطقه مربوطه باید مهم‌ترین علت آن باشد. تفاوت بین لاین‌های آزمایشی نیز در ارتباط با هر کدام از صفات مورد بررسی در شرایط مزرعه معنی‌دار بود. این امر فرصتی را برای انتخاب لاین‌های آزمایشی برتر و حذف لاین‌های حساس فراهم می‌کند.

هدف نهایی از اصلاح گندم برای مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله، تولید ارقام پرمحصول با علایم بیماری کمتر و میزان توکسین پایین‌تر با وجود فشار بالای بیماری است. 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 قارچ عامل بیماری در بافت گیاهی (مقاومت نوع II) در سال ١٩٦٣ توسط شرودر و کریستنسن (Schroeder and Christensen, 1963) معرفی شدند. 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 بعداً گزارش شدند (Mesterházy, 1995; Miller *et al.* 1985; Wang and Miller, 1988).

جدول ٦- مقایسه میانگین داده‌های مرتبط با مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به‌دست آمده از واکنش لاین‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و مرطوب شمال در شرایط مزرعه و گلخانه و رتبه‌بندی لاین‌های آزمایشی براساس هر کدام از صفات و میانگین آن‌ها

Table 6. Comparison of Fusarium head blight resistance means in elite wheat genetic lines from the northern warm and humid zone, evaluated under both field and greenhouse conditions, with genotype ranking based on individual traits and overall means

نام رقم/لاین	مقادیر صفات و رتبه لاین‌ها Traits values and their ranks				میانگین رتبه	انحراف معیار
Name of cultivar/line	وقوع بیماری (مزرعه) Disease incidence (Field)	پیشرفت بیماری (گلخانه) Disease progress (Greenhouse)	شاخص بیماری (مزرعه) Disease index (Field)	دانه آلوده به فوزاریوم (مزرعه) FDK (Field)	Mean of rank	Standard deviation
N-93-1 (Morvarid)	4.7 (1)	94.8 (10)	2.5 (1)	1.4 (1)	3.3	3.90
N-93-2 (Gonbad)	26.7 (11)	99.2 (15)	20.7 (9)	12.1 (16)	12.8	2.86
N-93-3	37.4 (19)	100.0 (17)	32.4 (19)	14.3 (18)	18.3	0.83
N-93-4	34.9 (17)	93.3 (8) (8)	29.1 (17)	14.1 (17)	14.8	3.90
N-93-5	34.1 (16)	87.6 (6)	26.5 (14)	9.9 (13)	12.3	3.77
N-93-6	22.0 (5)	66.1 (1)	15.7 (5)	7.1 (7)	4.5	2.17
N-93-7	38.6 (20)	97.0 (13)	30.4 (18)	9.5 (11)	15.5	3.64
N-93-8	35.2 (18)	76.9 (3)	27.4 (16)	14.8 (19)	14.0	6.44
N-93-9	23.5 (6)	100.0 (17)	18 (7)	9.8 (12)	10.5	4.39
N-93-10	24.8 (8)	93.8 (9)	18.3 (8)	7.6 (8)	8.3	0.43
N-93-11	26.3 (9)	99.6 (16)	21.7 (12)	10.6 (14)	12.8	2.59
N-93-12	18.4 (2)	94.8 (12)	13.0 (2)	6.8 (5)	5.3	19.77
N-93-13	33.0 (15)	85.1 (4)	27 (15)	8.7 (10)	11.0	4.53
N-93-14	28.6 (12)	92.4 (7)	21.7 (12)	6.8 (5)	9.0	3.08
N-93-15	20.3 (4)	97.0 (13)	14.2 (3)	5.2 (3)	5.8	4.21
N-93-16	30.5 (14)	94.7 (11)	24.8 (13)	11.0 (15)	13.3	1.48
N-93-17	28.9 (13)	98.8 (14)	21.3 (11)	7.8 (9)	11.8	1.92
N-93-18	26.5 (10)	85.9 (5)	21.2 (10)	6.9 (6)	7.8	2.28
N-93-19	19.4 (3)	97.0 (13)	14.6 (4)	4.5 (2)	5.5	4.39
N-93-20	23.4 (7)	100.0 (17)	16.7 (6)	5.6 (4)	8.5	5.02
21 (Falat)	50.3 (21)	67.7 (2)	36.7 (20)	22.3 (20)	15.8	7.95

جدول ۷- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین، اجزای واریانس، ضریب تنوع و وراثت‌پذیری صفات مرتبط با مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به‌دست آمده از واکنش لاین‌های گندم آزمایشی در شرایط مزرعه و گلخانه

Table 7. Minimum, maximum, mean values, components of variance, coefficient of variation, and broad-sense heritability of the traits associated with Fusarium head blight resistance obtained from response of experimental wheat genetic lines under field and greenhouse conditions

صفت Trait	حداقل Min.	حداکثر Max.	میانگین Mean	اجزای واریانس Components of variance			ضریب تنوع Coefficient of variation			وراثت‌پذیری عمومی Broad-sense heritability
				محیطی V_E	ژنتیکی V_G	فنوتیپی V_P	محیطی CV_E	ژنتیکی CV_G	فنوتیپی CV_P	
وقوع بیماری-مزرعه Disease Inc.-Field	0.2191 (4.7)	0.7881 (50.3)	0.5508 (27.4)	0.0317	0.0104	0.0421	32.32	18.51	37.25	0.25
شدت بیماری-مزرعه Disease Sev.-Field	0.8252 (54.0)	1.2190 (88.1)	1.0809 (77.9)	0.0022	0.0033	0.0055	4.34	5.31	6.86	0.60
شاخص بیماری-مزرعه Disease Ind.-Field	0.1578 (2.5)	0.6506 (36.7)	0.4754 (20.9)	0.0221	0.0087	0.0308	31.27	19.62	36.92	0.28
دانه آلوده به فوزاریوم-مزرعه Fusarium-damged kernels (FDK)-Field	0.1202 (1.4)	0.4916 (22.3)	0.3033 (8.9)	0.0067	0.0142	0.0209	26.99	39.29	47.67	0.68
شدت بیماری-گلخانه Disease Sev.-Greenhouse	0.9490 (66.1)	1.5708 (100)	1.3217 (93.9)	0.0267	0.0045	0.0312	12.36	5.09	13.36	0.14

* قبل از تجزیه واریانس و انجام محاسبات، روی داده‌ها عملیات تبدیل داده از نوع آرکسینوس انجام شده است. جهت درک بهتر حداقل، حداکثر و میانگین صفات، این اعداد به مقادیر اصلی خود (اعداد داخل پرانتز) نیز برگردانده شده‌اند.

* Prior to analysis of variance and further analysis, the data were subjected to arcsine transformation. For clearer interpretation of the minimum, maximum, and mean values, the results have been back-transformed to their original scale (values shown in parentheses).

برای اندازه‌گیری مقاومت نوع I در گندم، معمولاً میزان وقوع بیماری در گیاهان کاشته شده در پلات‌ها یا گلدان‌هایی که روی آن‌ها اسپورپاشی انجام می‌گیرد یا به طور طبیعی آلوده می‌شوند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Buerstmayr *et al.*, 2009). بر عکس، مقاومت نوع II معمولاً از طریق مایه‌زنی نقطه‌ای سنبله‌ها در شرایط کنترل شده گلخانه و اندازه‌گیری میزان پیشرفت بیماری (شدت بیماری) در آن‌ها ارزیابی می‌شود (Waldron *et al.*, 1999). به هر حال، آنچه که در شرایط مزرعه به دنبال اسپورپاشی گیاهان تحت عنوان شدت بیماری ثبت و اعلام می‌شود، نمی‌تواند به طور اختصاصی نشان دهنده مقاومت نوع II باشد، بلکه فقط بیانگر مقاومت به بیماری بدون امکان تفکیک آن به دو نوع مقاومت I و II خواهد بود. با توجه به این امر، با داشتن میزان شدت بیماری یک رقم/لاین آزمایشی، اندازه‌گیری شده در مزارع مایه‌زنی شده با اسپورپاشی شده، امکان تفکیک این دو نوع مقاومت و مشخص کردن سهم هر یک در میزان شدت بیماری وجود نخواهد داشت. همین‌طور، شاخص بیماری نیز که از تقسیم نمودن حاصل ضرب میزان وقوع بیماری در شدت بیماری بر عدد ۱۰۰ به‌دست می‌آید، نشان دهنده ترکیب این دو نوع مقاومت است. به هر حال، با توجه به اینکه شاخص بیماری درواقع در برگیرنده هر دو متغیر میزان وقوع و شدت بیماری در مزرعه است، از نظر کاربردی اهمیت زیادی داشته و استفاده از آن در غربال کردن لاین‌های آزمایشی، انتخاب مواد، و تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت این بیماری بسیار مفید و تعیین کننده است. 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.

براساس نتایج ارزیابی لاین‌های آزمایشی نسبت به بیماری در شرایط مزرعه در بررسی حاضر، چهار لاین N-93-1 (شاهد تجاری مروارید)، N-93-12، N-93-19 و N-93-15 همگی با دارا بودن میانگین وقوع بیماری حداکثر ۲۰ درصد، از نظر این صفت در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی از بالاترین مقاومت برخوردار بودند (جدول ٦). با توجه به اینکه وقوع بیماری مقاومت نوع I را نشان می‌دهد، پایین بودن اندازه این متغیر در چهار لاین گفته شده باید نشان دهنده مقاومت نوع I در آن‌ها باشد. با وجود پایین بودن نسبی میانگین وقوع بیماری در لاین‌های مذکور، نگاه به داده‌های مربوط به شدت بیماری به‌دست آمده از بررسی‌های گلخانه‌ای برای این لاین‌ها نشان می‌دهد که هر چهار لاین گفته شده در بالا دارای میانگین شدت بیماری بسیار بالا و در دامنه ٨٤/٦ تا ٩٧ درصد می‌باشند (جدول ٦). با توجه به اینکه شدت بیماری اندازه‌گیری شده در شرایط گلخانه نشان دهنده مقاومت نوع II است، به‌نظر می‌رسد که این لاین‌ها فاقد این نوع مقاومت می‌باشند. در هر حال، هر چهار لاین گفته شده، از نظر شاخص بیماری هم بهترین وضعیت را داشته و با دارا بودن میانگین شاخص بیماری بین ۲/۵ تا ١٤/٢ درصد از مقاومت خوبی در برابر این بیماری برخوردار بودند (جداول ٤ و ٦). با در نظر گرفتن این امر که شاخص بیماری ترکیبی از دو نوع مقاومت I و II را نشان می‌دهد و با توجه به پایین‌تر بودن نسبی میانگین وقوع بیماری (ناشی از وجود احتمالی مقاومت نوع I) و در عین حال بالا بودن شدت بیماری در گلخانه (ناشی از نبود احتمالی مقاومت نوع II) در این لاین‌ها، ممکن است وقوع بیماری نقش برجسته‌تری در پایین آوردن این شاخص داشته باشد. به نظر می‌رسد که وجود مقاومت نوع I در این لاین‌ها توانسته است این لاین‌ها را تا حد زیادی در برابر بیماری حفظ کند. با توجه به اینکه در لاین‌های N-93-6 و N-93-20 نیز میزان وقوع بیماری در مزرعه نسبتاً پایین بوده است (جدول ٦)، این امر ممکن است باعث پایین آمدن شاخص بیماری در آن‌ها شده است. البته این امر وجود مقاومت نوع I در این لاین‌ها را نیز تأیید می‌کند. با توجه به موارد گفته شده در بالا، به‌ترتیب شش لاین N-93-1 (شاهد تجاری مروارید)، N-93-12، N-93-19، N-93-15، N-93-6 و N-93-20 می‌توانند به‌عنوان لاین‌های منتخب در نظر گرفته شوند. در این تحقیق، شش لاین آزمایشی دارای شاخص بیماری

نسبتاً پایین که در بالا به آن‌ها اشاره شد، با دارا بودن میانگین آلودگی دانه نسبتاً پایین (۱/٤ تا ۷/۱ درصد)، از این نظر هم جزو لاین‌های برتر بودند (جدول ٦). پایین بودن میزان آلودگی دانه ممکن است به علت وجود مقاومت نوع IV در این لاین‌ها باشد، هر چند که وجود مقاومت نوع I یا II هم که باعث کاهش آلودگی سنبله‌ها به بیماری می‌شوند نیز می‌تواند به طور غیر مستقیم در این امر نقش داشته باشد. در هر حال، پایین‌تر بودن آلودگی دانه در این لاین‌ها می‌تواند دلیل دیگری برای انتخاب آن‌ها باشد.

علاوه بر آنچه که گفته شد، تعیین رتبهٔ لاین‌های آزمایشی با در نظر گرفتن همهٔ صفات مرتبط با مقاومت از جمله شاخص بیماری و انتخاب مواد بر پایهٔ میانگین رتبهٔ اکتسابی، که در این تحقیق انجام شد، ممکن است گزینه مناسبی برای انتخاب لاین‌های برتر باشد. البته بررسی و تفسیر هر یک از صفات مورد بررسی به‌صورت جداگانه نیز از نظر شناسایی و تعیین نوع مقاومت موجود در آن‌ها اهمیت دارد. در این بررسی، با در نظر گرفتن میانگین اکتسابی رتبه لاین‌های آزمایشی از چندین صفت شامل میزان وقوع بیماری در شرایط مزرعه، میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های مایه‌زنی شده (شدت بیماری) در شرایط گلخانه، شاخص بیماری و میزان آلودگی دانه در شرایط مزرعه، به‌ترتیب پنج لاین آزمایشی N-93-1 (شاهد تجاری مروارید)، N-93-6، N-93-12، N-93-19 و N-93-15 به‌عنوان برترین لاین‌ها شناسایی شدند (جدول ٦). همه این لاین‌ها قبلاً براساس شاخص بیماری نیز جزو لاین‌های برتر تشخیص داده شده بودند (جدول ٤). البته با توجه به بالا بودن انحراف معیار لاین N-93-12، امکان جایگزینی آن با لاین N-93-18 که از نظر رتبه بلافاصله بعد از لاین N-93-15 قرار دارد، پیشنهاد می‌شود. پایین بودن رتبه و انحراف معیار لاین‌های آزمایشی ممکن است دلیلی بر اساس ژنتیکی واحد صفات مورد بررسی و پایداری مقاومت موجود در آن‌ها باشد.

وجود تنوع ژنتیکی در گیاهان اساس برنامه‌های اصلاحی در آن‌ها به‌شمار می‌رود. با توجه به این امر، جهت انجام مطالعات ژنتیکی در گیاهان و اصلاح ارقام مناسب، ابتدا باید میزان تنوع ژنتیکی در آن‌ها مشخص شود. برنامه‌های اصلاح گندم در ایران عمدتاً براساس گزینش فنوتیپی و مورفولوژیکی استوارند. اصلاح گندم برای مقاومت به بیماری‌ها از جمله مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی نیز عمدتاً از طریق مشاهده صفات فنوتیپی در مزرعه یا گلخانه و در نظر گرفتن برتری ارقام یا لاین‌های آزمایشی در صفات مختلف انجام می‌شود. در هر حال، بایستی در نظر داشت که مطالعه تنوع ژنتیکی برای صفاتی کمی مانند عملکرد یا مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی که توسط تعداد زیادی ژن کوچک‌اثر کنترل می‌شوند و تا حد زیادی تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند، مشکل‌تر از صفات کیفی می‌باشد.

از مقایسه ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی محاسبه شده برای صفات مختلف برای تعیین وجود یا عدم وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های آزمایشی و مشخص کردن میزان نقش عوامل محیطی بر روی ویژگی‌های مورد بررسی، استفاده می‌شود. با توجه به اینکه ضریب تنوع ژنتیکی بخشی از ضریب تنوع فنوتیپی می‌باشد، مقدار آن همواره کمتر از ضریب تنوع فنوتیپی خواهد بود. وجود اختلاف ناچیز بین ضریب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای صفات مورد مطالعه نشان دهنده این است که بخش عمده تنوع موجود، ناشی از تفاوت ژنتیکی می‌باشد و محیط تأثیر اندکی در آن دارد. درواقع، هرچه نسبت تنوع ژنوتیپی به تنوع فنوتیپی زیادتر باشد، بازدهی انتخاب بیشتر بوده و بهتر می‌توان ژنوتیپ‌های مطلوب را از ژنوتیپ‌های نامطلوب تشخیص داد. در هر حال، مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در گندم، صفتی کمی است که توسط مکان‌های صفات کمی (Quantitative trait loci=QTL) با اثرات کم کنترل می‌شود و به‌شدت تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد (Bai and Shaner, 2004). تأثیر بالای عوامل محیطی بر روی رشد قارچ و برهمکنش متقابل قوی بین QTLهای با اثرات کم و محیط باعث ایجاد مشکلاتی در دستیابی به نتایج تکرارپذیر و ثابت در فعالیت‌های اصلاحی مرتبط با ایجاد مقاومت در برابر این بیماری شده است (Berraies *et al.*, 2023).

در بررسی حاضر، با توجه به بالاتر بودن ضریب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای سه ویژگی شامل دانه آلوده به فوزاریوم (FDK)، میزان وقوع بیماری و شاخص بیماری (جدول ۷)، دامنه گسترده‌ای از تغییرات برای این صفات وجود داشته است. دامنه تغییرات مشاهده شده در این صفات نیز که به‌ترتیب ۲۲/۳–۱/٤، ۵۰/۳–٤/۷ و ۳٦/۷–۲/۵ بوده‌اند (جدول ۷)، این امر را تأیید می‌کند. با توجه به اینکه نسبت ضریب تنوع ژنتیکی به ضریب تنوع فنوتیپی برای صفت دانه آلوده به فوزاریوم (FDK) از بین سه صفت مذکور بسیار بالا بوده است، به‌نظر می‌رسد که این صفت عمدتاً تحت کنترل ژنتیکی بوده است. با اینکه اساساً ضریب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای صفت شدت بیماری در شرایط مزرعه نیز بالا نبوده است، با توجه به بالا بودن نسبت ضریب تنوع ژنتیکی به ضریب تنوع فنوتیپی برای آن (جدول ۷)، کنترل ژنتیکی بالاتر آن نیز قابل نتیجه‌گیری است. برعکس، با توجه به پایین بودن نسبی ضریب تنوع ژنتیکی به ضریب تنوع فنوتیپی در مورد دو صفت میزان وقوع و شاخص بیماری، به نظر می‌رسد که نقش عوامل ژنتیکی در کنترل آن‌ها نسبتاً کمتر و تأثیر شرایط محیطی روی آن‌ها بیشتر بوده است. وراثت‌پذیری عمومی بالای دو صفت دانه آلوده به فوزاریوم (FDK) و شدت بیماری در مزرعه (جدول ۷)، شاهد دیگری مبنی بر کنترل ژنتیکی بالای این صفات به‌شمار می‌رود. در بررسی حاضر، ضریب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی برای صفت شدت بیماری در شرایط گلخانه پایین بود (جدول ۷). در هر حال، با توجه به اینکه نسبت ضریب تنوع ژنتیکی به ضریب تنوع فنوتیپی و وراثت‌پذیری عمومی برای این صفت پایین بود (جدول ۷)، این امر می‌تواند نقش کمتر کنترل ژنتیکی و اثر بیشتر محیط روی آن را نشان دهد. با توجه به انجام این قسمت از بررسی در شرایط کنترل شده گلخانه و با استفاده روش مایه‌زنی نقطه‌ای که خود کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد، دست یافتن به این نتیجه دور از انتظار بود. البته در بررسی‌های مشابه انجام شده دیگر نیز وراثت‌پذیری عمومی در آزمایش مایه‌زنی نقطه‌ای در شرایط گلخانه در مقایسه با روش اسپورپاشی در مزرعه تاحدی پایین‌تر بوده است و علت آن مواردی از قبیل تعداد کمتر سنبله‌های مایه‌زنی شده و مورد ارزیابی در روش مایه‌زنی نقطه‌ای ذکر شده است (Syed *et al.*, 2024). در بررسی حاضر، علاوه بر تعداد کمتر سنبله‌های مایه‌زنی شده در شرایط گلخانه ممکن است عوامل ناشناخته دیگری نیز در پایین آمدن میزان وراثت‌پذیری عمومی شدت بیماری در گلخانه نقش داشته باشند و جهت اطمینان از این امر بهتر است بررسی بیشتر از طریق تکرار این قسمت از آزمایش ادامه یابد.

سپاسگزاری

از آقایان اسماعیل ابراهیمی میمند، حسین بهلول و عزیز ناصری به ترتیب 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 ۰–۰۳–۰۳–۹۳۳٤۲ همکاری داشته‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. تمام هزینه‌های این تحقیق از محل اعتبارات پروژهٔ مذکور توسط مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین شده است.

References

Bai, G.H. and Shaner, G.E. (2004). Management and resistance in wheat and barley to Fusarium head blight. *Annual Review of Phytopathology*, **42:** 135-161.

Berraies, S., Cuthbert, R., Knox, R., Singh, A., DePauw, R., Ruan, Y., Bokore, F., Henriquez, M.A., Kumar, S., Burt, A., Pozniak, C., N'Diaye, A. and Meyer, B. (2023). High-density genetic mapping of Fusarium head blight resistance and agronomic traits in spring wheat. *Frontiers in Plant Science*, **14:** 1-24.

Bolanos-Carriel, C., Wegulo, S.N., Hallen-Adams, H., Baenziger, P.S., Eskridge, K.M. and Funnell-Harris, D. (2016). Effects of Cultivar Resistance, Fungicide Application Timing, and Fungicide Chemical Class on FHB and DON in Winter Wheat. In: Canty, S.M., Clark, A., Wolfe, K. and Van Sanford, D., Eds., *Proceedings of the 2016 National Fusarium Head Blight Forum*, 9-10. East Lansing, MI/Lexington, KY, USA.

Buerstmayr, H., Ban, T. and Anderson, J.A. (2009). QTL mapping and marker-assisted selection for Fusarium head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breeding*, **128:** 1-26.

Chen, P. (2016). Improvement of Wheat Fusarium head blight (FHB) Resistance in China. In: Del Ponte, E.M., Bergstrom, G.C., Pavan, W., Lazzaretti, A. and Fernandes, J.M.C., Eds., *Proceedings of the 5th International Symposium on Fusarium Head Blight*, p. 18. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil.

Dill-Macky, R. and Jones, R.K. (2000). The Effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Disease*, **84:** 71-76.

Gilbert, J. and Haber, S. (2013). Overview of some recent research developments in fusarium head blight of wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, **35:** 149-174.

Hatami, F., Nazarian-Firouzabadi, F., Sohrabi, S.S. and Khademi, M. (2024). Identification and expression analysis of RLP and RLK gene family members in transcriptome of saffron infected with *Fusarium Oxysporum* corm rot. *Plant Genetic Researches*, **11(1):** 121-136 (In Persian).

Kelly, A.C., Clear, R.M., O'Donnell, K., McCormick, S., Turkington, T.K., Tekauz, A., Gilbert, J., Kistler, H.C., Busman, M. and Ward, T.J. (2015). Diversity of *Fusarium* head blight populations and trichothecene toxin types reveals regional differences in pathogen composition and temporal dynamics. *Fungal Genetics and Biology*, **82:** 22-31.

Ketata, H., Yan, S.K. and Nachit, M. (1989). Relative consistency performance across environments. *International Symposium on Physiology and Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments*, pp. 391-400. Montpellier, France.

Malihipour, A. (2022). *Fusarium Head Blight of Wheat*. University of Tehran Press, Tehran, Iran (In Persian).

Malihipour, A., Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Najafian, G., Roustaei, M., Najafi Mirak, T., Amini, A., Khodarahmi, M. and Bakhtiar, F. (2020). *Iranian Wheat Cultivars (Released from 1931 to 2019)*. Nashr-e Amouzesh-e Keshavarzi, Karaj, Iran (In Persian).

McMullen, M., Jones, R. and Gallenberg, D. (1997). Scab of wheat and barley: A reemerging disease of devastating impact. *Plant Disease*, **81:** 1340-1348.

Mesterházy, A. (1995). Types and components of resistance to fusarium head blight of wheat. *Plant Breeding*, **114:** 377-386.

Miller, J.D., Culley, J., Fraser, K., Hubbard, S., Meloche, F., Ouellet, T., Seaman, W.L., Seifert, K.A., Turkington, K. and Voldeng, H. (1998). Effect of tillage practice on fusarium head blight of wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, **20:** 95-103.

Miller, J.D., Young, J.C. and Sampson, D.R. (1985). Deoxynivalenol and Fusarium head blight resistance in spring cereals. *Journal of Phytopathology*, **113:** 359-367.

Obanor, F., Neate, S., Simpfendorfer, S., Sabburg, R., Wilson, P. and Chakraborty, S. (2013). *Fusarium graminearum* and *Fusarium pseudograminearum* caused the 2010 head blight epidemics in Australia. *Plant Pathology*, **62:** 79-91.

Parry, D.W., Jenkinson, P. and McLeod, L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small grains-a review. *Plant Pathology*, **44:** 207-238.

Schroeder, H.W. and Christensen, J.J. (1963). Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology*, **53:** 831-838.

Shah, L., Ali, A., Yahya, M., Zhu, Y., Wang, S., Si, H., Rahman, H. and Ma, C. (2018). Integrated control of fusarium head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat. *Plant Pathology*, **67:** 532-548.

Shah, D.A., De Wolf, E.D., Paul, P.A. and Madden, L.V. (2019). Functional data analysis of weather variables linked to *Fusarium* head blight epidemics in the United States. *Phytopathology*, **109:** 96-110.

Syed, S., Aleliūnas, A., Lillemo, M., and Gorash, A. (2024). Analyses of wheat resistance to Fusarium head blight using different inoculation methods. *Agronomy*, **14(10):** 2415.

Taghikhani, S., Ramshini, H., Sadat-Noori, S. A., Lotfi, M., Izadi Darbakdi, A., Sousaraei, N., and Varvani Farahani, A. (2018). SNP marker assisted selection for identification of fusarium resistant melon plants. *Plant Genetic Researches*, **5(1):** 63-76 (In Persian).

Tillmann, M., Von Tiedemann, A. and Winter, M. (2017). Crop rotation effects on incidence and diversity of *Fusarium* species colonizing stem bases and grains of winter wheat. *Journal of Plant Diseases and Protection*, **124:** 121-130.

Torres, A.M., Palacios, S.A., Yerkovich, N., Palazzini, J.M., Battilani, P., Leslie, J.F., Logrieco, A.F. and Chulze, S.N. (2019). *Fusarium* head blight and mycotoxins in wheat: prevention and control strategies across the food chain. *World Mycotoxin Journal*, **12:** 333-355.

Waldron, B.L., Moreno-Sevilla, B., Anderson, J.A., Stack, R.W. and Frohberg, R.C. (1999). RFLP mapping of QTL for fusarium head blight resistance in wheat. *Crop Science*, **39:** 805-811.

Wang, Y.Z. and 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.

Wegener, M. (1992). *Optimierung von Saatgutpillierungen mit Mikrobiellen Antagonisten zur Biologischen Biologischen Bekampfung von Fusarium culmorum (W. G. Smith) Sacc*. Weizen. Diplomarbeit, Georg-August-Universitates Göttingen, Göttingen, Germany.

Wood, M., Comis, D., Harden, D., McGraw, L. and Stelljes, K.B. (1999). *Fighting Fusarium. Agricultural Research*. June issue. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Beltsville, MD, USA.

Xi, K., Shan, L., Yang, Y., Zhan, G., Zhang, J. and guo, W. (2021). Species diversity and chemotypes of *Fusarium* species associated with maize stalk rot in Yunnan province of southwest China. *Frontiers in Microbiology,* **12:** 652062.

Yazdi-Samadi, B., Rezaei, A. and Valizadeh, M. (2006). *Experimental Deigns in Agricultural Research*.University of Tehran Press, Tehran, Iran (In Persian).

Zhang, H., Brankovics, B., Xu, J., Xu, J.S., Guo, C., Guo, J.G., Jin, S.J., Chen, W.Q., Feng, J., Van Diepeningen, A.D., Van der Lee, T.A.J. and Waalwijk, C. (2016). Crops are a main driver for species diversity and the toxigenic potential of *Fusarium* isolates in maize ears in China. *World Mycotoxin Journal,* **9:** 701-716.