



## Investigating the resistance to Fusarium head blight (FHB) among elite wheat genotypes from the South warm and dry zone of Iran

Ali Malihipour<sup>1</sup> , Mohammadali Dehghan<sup>2</sup>  and Kamal Shahbazi<sup>3</sup> 

1. Corresponding author, Cereal Research Department, Seed & Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Iran. Email: [a.malihipour@areeo.ac.ir](mailto:a.malihipour@areeo.ac.ir)
2. Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: [dehghan21@gmail.com](mailto:dehghan21@gmail.com)
3. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Parsabad, Iran. Email: [kamal.shahbazi@yahoo.com](mailto:kamal.shahbazi@yahoo.com)

Article Info	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research Article	<p>Fusarium head blight (FHB), caused mainly by <i>Fusarium graminearum</i>, is one of the most destructive diseases of wheat in the North warm and humid climate in Iran. The disease may also become important in the South warm and dry climate if weather conditions are conducive for the disease. In this study, 28 elite wheat genotypes from the South warm and dry climate were investigated in order to identifying and selecting resistant genotypes in a randomized complete block design under field conditions in two locations of Araghi-Mahalleh (Gorgan) and Moghan (Parsabad) agricultural research stations and in the greenhouse. Combined analysis of variance of several datasets including disease incidence, severity, and index and Fusarium-damaged kernels (FDK) from the field showed significant differences among the genotypes. Simple analysis of variance of data of disease progress within the inoculated spikes in the greenhouse also showed significant differences among the genotypes. This study showed that seven lines including S-93-25, S-93-23, S-93-12, S-93-24, S-93-27, S-93-10, and S-93-13, having an average rank of 3.8 to 8.3 from different variables of the disease collected from the field and greenhouse, had higher resistance to FHB. Three lines of S-93-17, S-93-11, and S-93-15 were stand in the next places. According to these data and other data collected from the South warm and dry breeding program, the line S-93-15 was denominated as the new wheat cultivar "Sahar" for cultivation in this zone. The other lines mentioned above may also be relevant candidates for replacement with older cultivars.</p>
<b>Article history:</b> Received: 19 December 2025 Revised: 29 December 2025 Accepted: 30 December 2025 Published online: Autumn and Winter 2025	
<b>Keywords:</b> <i>Disease incidence, disease index, disease severity, Fusarium-damaged kernels (FDK), Fusarium graminearum.</i>	

**Cite this article:** Malihipour, A., Dehghan, M. A. & Shahbazi, K. (2025). Investigating the resistance to Fusarium head blight (FHB) among elite wheat genotypes from the South warm and dry zone of Iran. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 56 (2), 381-401. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2026.409761.1007102>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2026.409761.1007102>

**Publisher:** The University of Tehran Press.

## Extended Abstract

### Introduction

Fusarium head blight (FHB), caused mainly by *Fusarium graminearum*, is one of the most destructive diseases of wheat which is common in warm and humid climates with high rainfall during flowering. This disease is one of the most important diseases of wheat especially in the North warm and humid zone and similar areas in Iran. The disease may also become important in the South warm and dry zone in years when weather conditions are conducive for the disease development. In this study, 28 elite wheat genotypes from the South warm and dry breeding program were investigated in order to identification and selection of resistant genotypes to FHB.

### Materials and Methods

This study was carried out in a randomized complete block design (RCBD) with three replications under field conditions in two locations including Araghi-Mahalleh Agricultural Research Station, Gorgan, Golestan province, Iran and Moghan Agricultural Research Station, Parsabad, Ardabil province, Iran and in the greenhouse. To conduct the field experiments, at routine sowing date (late autumn), each of the experimental genotypes was sown on a 1.5-meter-long rows and routine operations were performed to bring the plants to adult stage. As soon as each genotype reached 50% flowering, its spikes were inoculated by spraying with a suspension of fungal spores ( $5 \times 10^4$  spores per ml) using a backpack sprayer. This operation was repeated two days later. Mist irrigation was applied to the experimental nurseries to aid disease development. Three weeks after the first spore spraying, disease incidence and severity were recorded. Disease incidence was determined by calculating the percentage of infected spikes and disease severity on a 0-100% scale for each planting line. The disease index for each line was calculated by dividing the product of incidence and disease severity by 100. In addition, after harvesting the plants of each planting line, threshing them, and sampling the seeds obtained, infected and healthy seeds were counted, and the percentage of Fusarium-damaged kernels (FDK) for each line was determined. To investigate the reaction of the genotypes in the greenhouse, the experimental pots with a diameter and height of 15 cm, filled with a mixture of regular soil and peat moss (70% and 30%, respectively), and 8-10 seeds from each genotype were planted in each pot. The pots containing the seeds were placed in a greenhouse at a temperature of 25-30°C for 7-10 days to germinate. Then, the seedlings were thinned to six seedlings per pot and were placed outdoor under cold conditions in order to grow the seedlings at a relatively cool temperature to get better tillers and to produce more and stronger spikes. Two months after the seedlings grew outdoor, they were transferred to the greenhouse at a temperature of 25-30°C to grow into spikes. As soon as each spike from each genotype reached 50% flowering, it was point-inoculated with 10 microliters of the fungal spore suspension ( $5 \times 10^4$  spores per ml) using a hand sampler. Three weeks after inoculation of each spike, the percentage of disease progress (disease severity) was measured by determining the ratio of infected spikelets to the total spikelets within the spike.

### Results and Discussion

Combined analysis of variance of data for several datasets including disease incidence, severity, and index and Fusarium-damaged kernels (FDK) from three environments showed significant differences among the genotypes. Simple analysis of variance of data of disease progress within the inoculated spikes (disease severity) in the greenhouse also showed significant differences among the genotypes. The present study showed that seven lines including S-93-25, S-93-23, S-93-12, S-93-24, S-93-27, S-93-10, and S-93-13, having an average rank of 3.8 to 8.3 from different variables of the disease from the field and greenhouse, had higher resistance to the disease. Three other lines including S-93-17, S-93-11, and S-93-15 were stand in the next places. It seems that presence of type I resistance in these lines has reduced their disease level. According to these results and the other results collected from the South warm and dry breeding program, the line S-93-15 was denominated as the new wheat cultivar "Sahar" for cultivation in this zone. The other lines mentioned above may also be relevant candidates for replacement with older cultivars.

### Conclusions

Even though wheat FHB is not endemic in the South warm and dry zone in Iran, it can be epidemic if susceptible wheat cultivars are cultivated and weather conditions are conducive for the disease development. There are records of FHB epidemics and losses caused by the disease in this zone. Results of the present study showed variations in reaction to the disease among elite wheat genotypes tested under field and greenhouse conditions. Based on data of the present study and the other data collected from the South warm and dry breeding program, at least one wheat cultivar denominated as "Sahar" for cultivation in this zone and still there are chance of releasing other cultivars.

### ***Author contributions***

Conceptualization and methodology, A.M.; implement of greenhouse experiments and data collection, A.M.; cultivation and support of Gorgan field experiments, M.D.; Gorgan data collection, A.M. and M.D.; cultivation and support of Parsabad field experiments, K.Sh.; Parsabad data collection, A.M. and K.Sh.; formal data analysis, A.M.; writing—original draft preparation, A.M.; writing—review and editing, A.M.; visualization, A.M.; supervision, A.M.; project administration, A.M.; funding acquisition, A.M., M.D., and K.Sh. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### ***Data availability statement***

Data available on request from the authors.

### ***Acknowledgements***

We thank Esmail Ebrahimi-Meymand, Cereal Research Department, Seed & Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Iran, Hossein Bohloul, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran, and Aziz Naseri, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Parsabad, Iran for their technical assistance. All costs of this research were covered by the project No. 0-03-03-93342 approved by Seed & Plant Improvement Institute (SPII), AREEO, Karaj, Iran, which are gratefully acknowledged.

### ***Ethical considerations***

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

### ***Conflict of interest***

The authors declare that they have no conflict of interest.

## مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در بین ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب کشور

علی ملیحی پور<sup>۱</sup> | محمدعلی دهقان<sup>۲</sup> | کمال شهبازی<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات غلات، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: [a.malihipour@areeo.ac.ir](mailto:a.malihipour@areeo.ac.ir)
۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. رایانامه: [dehghan21@gmail.com](mailto:dehghan21@gmail.com)
۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پارس آباد، ایران. رایانامه: [kamal.shahbazi@yahoo.com](mailto:kamal.shahbazi@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	بیماری بلایت فوزاریومی سنبله، عمدتاً ناشی از قارچ <i>Fusarium graminearum</i> ، از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در اقلیم گرم و مرطوب در ایران است. این بیماری در شرایط جوی مناسب برای بیماری، در اقلیم گرم و خشک جنوب نیز اهمیت پیدا می‌کند. در تحقیق حاضر، ۲۸ ژنوتیپ امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب با هدف شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری، در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی عراقی محله (گرگان) و مغان (پارس آباد) و نیز در شرایط گلخانه (کرج) در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به میزان وقوع، شدت و شاخص بیماری و میزان آلودگی دانه به دست آمده از مزرعه نشان داد که برای هر چهار صفت مذکور تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی وجود دارد. تجزیه واریانس ساده داده‌های مربوط به میزان پیشرفت بیماری در سنبله در شرایط گلخانه نیز تفاوت معنی‌داری بین این ژنوتیپ‌ها نشان داد. بررسی حاضر نشان داد که هفت لاین S-93-25، S-93-23، S-93-12، S-93-24، S-93-27، S-93-10 و S-93-13 با کسب میانگین رتبه‌های ۳/۸ تا ۸/۳ به دست آمده از متغیرهای مختلف بیماری در مزرعه و گلخانه، در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها از مقاومت بالاتری برخوردارند. سه لاین S-93-17، S-93-11 و S-93-15 نیز در جایگاه‌های بعدی قرار داشتند. با توجه به نتایج حاضر و سایر نتایج به دست آمده در برنامه به‌نژادی گرم و خشک، لاین S-93-15 با نام سحر جهت کشت در این اقلیم معرفی شده است. سایر لاین‌های گفته شده در بالا نیز نامزدهای مناسبی برای جایگزینی با رقم‌های قدیمی‌تر در این اقلیم می‌باشند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹ تاریخ انتشار: پاییز و زمستان ۱۴۰۴	
کلیدواژه‌ها: آلودگی دانه، شاخص بیماری، شدت بیماری، وقوع بیماری، <i>Fusarium graminearum</i>	

استناد: ملیحی پور، علی؛ دهقان، محمدعلی و شهبازی، کمال (۱۴۰۴). مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در بین ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب کشور. نشریه دانش گیاه پزشکی ایران، ۵۶ (۲)، ۳۸۱-۴۰۱. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2026.409761.1007102>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2026.409761.1007102>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

بیماری بلایت فوزاریومی سنبله که توسط گونه‌های مختلف قارچ *Fusarium* به‌ویژه گونه *Fusarium graminearum* Schwabe ایجاد می‌شود، یکی از مخرب‌ترین بیماری‌های گندم است که در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب و با بارندگی زیاد در زمان گل‌دهی شایع است. بر اساس ارزیابی‌های جهانی، بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در بیش از ۴۰ کشور جهان به عنوان یکی از پنج بیماری مهم گندم شناخته می‌شود (Buerstmayr et al. 2020). این بیماری علاوه بر کاهش قابل توجه عملکرد محصول، از طریق قارچ‌های عامل خود مایکوتوکسین‌هایی از قبیل دی‌اوکسی‌نیونول (DON) و زیرانون تولید می‌کند که تهدیدی جدی برای سلامت انسان و دام و بهداشت مواد غذایی به شمار می‌روند (Bai and Shaner 2004; McMullen et al. 1997). بررسی‌ها نشان داده‌اند که در موارد شدید خسارت، میزان کاهش عملکرد ناشی از بیماری ممکن است به ۱۰ تا ۷۰ درصد برسد (Buerstmayr et al. 2009). آلودگی به مایکوتوکسین‌ها نیز به‌قدری جدی است که برای سطح مجاز آنها در گندم و فرآورده‌های به‌دست آمده از آن در بسیاری از کشورها محدودیت‌های قانونی وضع شده است.

بروز همه‌گیری‌های این بیماری با شرایط آب و هوایی به ویژه روزهای بارانی همراه با دمای بالا در زمان گلدهی و فراوانی مایه تلقیح اولیه ارتباط زیادی دارد (Dill-Macky and Jones 2000; Obanor et al. 2013; Shah et al. 2019; Torres et al. 2019). در چند دهه اخیر همه‌گیری‌های گسترده‌ای از این بیماری در مناطق مختلف جهان روی داده است. ایالات متحده آمریکا، کانادا و چین سه کشوری هستند که بیماری در آن‌ها به‌شدت مشکل‌ساز بوده است. از اوایل دهه ۱۹۹۰ بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به یکی از مهم‌ترین بیماری‌های غلات در غرب میانه آمریکا و کانادا تبدیل شده است (Gilbert and Tekauz 2016; Turkington et al. 2000). این بیماری در این دو کشور همچنان اهمیت دارد و در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ در برخی مناطق آمریکا به‌صورت همه‌گیر درآمده است (Bolanos-Cariel et al. 2016). همه‌گیری‌های بیماری در چین به‌طور معمول در استان‌های واقع در دامنه‌های پایینی و میانی دره رود یانگ‌تسه، استان فوجیان واقع در سواحل جنوبی و استان هلیونگجیانگ واقع در شمال شرق آن کشور روی می‌دهند (Xu and Chen 1993). در هر حال، طی یکی دو دهه گذشته بیماری به مناطق کشت گندم زمستانه رود زرد و رود هوای در این کشور گسترش یافته و همه‌گیری‌های شدیدی از آن در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ در این مناطق روی داده است (Chen 2016). در آمریکای جنوبی نیز کشورهایی مانند برزیل و آرژانتین با اپیدمی‌های متناوب بیماری مواجه‌اند. با توجه به شیوع این بیماری در بسیاری از کشورهای اروپایی، کاهش سطح مایکوتوکسین در گندم یا محصولات به‌دست آمده از آن در این کشورها دارای اولویت است. بیماری بلایت فوزاریومی سنبله علاوه بر چین، در برخی کشورهای دیگر قاره آسیا نیز شایع است. تغییر الگوهای اقلیمی جهانی، گسترش کشت ارقام حساس و افزایش رطوبت نسبی در فصل رشد، احتمال بروز اپیدمی‌های بیماری را در بسیاری از مناطق معتدل افزایش داده است (Chakraborty and Newton 2011).

در ایران، با اینکه این بیماری از زمان‌های دور به‌طور پراکنده در برخی استان‌ها وجود داشته است ولی از اوایل دهه ۱۳۶۰ آلودگی زیادی از آن به‌ویژه در استان‌های گلستان و مازندران مشاهده شده است (بامدادیان و ترابی ۱۳۶۲). این بیماری که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گندم در مناطق شمالی کشور و نیز در منطقه مغان در استان اردبیل به صورت بوم‌گیر وجود دارد، از اوایل دهه ۱۳۷۰ تاکنون هر چند سال یک‌بار در این مناطق به‌صورت همه‌گیر درآمده است (ملیحی‌پور ۱۴۰۱). بیماری در

1. Fusarium head blight
2. mycotoxin
3. deoxynivalenol
4. zearalenone
5. epidemic
6. Yangtze River
7. Fujian
8. Heliongjiang
9. Yellow River
- 1 . Huai River 0
- 1 . endemic 1

صورت مساعد بودن شرایط جوی برای توسعه آن می‌تواند در هر منطقه دیگر از کشور نیز شایع شود. به‌عنوان مثال، بیماری به‌طور غیرمعمول در سال ۱۳۷۵ در برخی مناطق استان هرمزگان و در سال ۱۳۷۶ در برخی مزارع جیرفت واقع در استان کرمان به‌گندم خسارت وارد کرده است (ملیحی پور ۱۴۰۱).

برای مدیریت بیماری بلایت فوزاریومی سنبله روش‌های مختلفی از قبیل تناوب زراعی، کنترل بقایای گیاهی، استفاده از قارچ‌کش‌ها و استفاده از رقم‌های مقاوم ذکر شده‌اند. تولید و استفاده از رقم‌های مقاوم به بیماری، راهبردی پایدار، اقتصادی و دوستدار محیط زیست به‌شمار می‌رود (Bai and Shaner 2004; Buerstmayr *et al.* 2020). مدیریت پایدار این بیماری به‌ویژه از طریق شناسایی و به‌کارگیری منابع ژنتیکی مقاومت، یکی از اولویت‌های اصلی تحقیقات اصلاح نباتات در سطح جهان است (Buerstmayr *et al.* 2020).

تفاوت در واکنش به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در بین ارقام گندم اولین بار توسط آرتور (Arthur 1891) گزارش شده است. از آن زمان تاکنون تلاش‌های قابل توجهی برای یافتن منابع مقاومت به بیماری به‌منظور استفاده در برنامه‌های اصلاحی صورت گرفته است. بیشتر محققان به این نتیجه رسیده‌اند که هیچ گندمی در برابر این بیماری مصون نیست و موارد معدودی گندم‌های مقاوم به بیماری وجود دارند (Bai and Shaner 2004). منابع مقاومت معروف و شناخته شده برای این بیماری شامل سومای ۱۳ و مشتقات آن از چین، نوبوکابوزو-کوموجی،<sup>۱</sup> شینچوناگا،<sup>۲</sup> نیوبای<sup>۳</sup> و مشتقات آن‌ها از ژاپن و فرونتانا<sup>۴</sup> و انکروزیلهدا<sup>۵</sup> از برزیل می‌باشند (Bai and Shaner 2004). همچنین، از گندم‌های زمستانه، ارقام آرینا،<sup>۶</sup> رنان<sup>۷</sup> و پراگ-۸<sup>۸</sup> که هر سه از اروپا هستند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری گزارش شده‌اند (Gervais *et al.* 2003; Ruckenbauer *et al.* 2001; Snijders 1990). گونه‌های گندم دیپلوئید و تتراپلوئید معمولاً در برابر این بیماری حساس‌ترند (Wan *et al.* 1997b). به‌عنوان مثال گندم دوروم در مقایسه با گندم نان همیشه حساسیت بیشتری در برابر گونه‌های عامل بیماری از خود نشان داده است (Atanasoff 1950; Hanson *et al.* 1924). تعدادی از خویشاوندان وحشی گندم نیز به‌عنوان منابع مقاومت به بیماری شناخته شده‌اند (Ban 1997; Buerstmayr *et al.* 2003; Chen *et al.* 2001; Liu *et al.* 2000; Shen *et al.* 2004; Wan *et al.* 1997a, 1997b).

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 ارقامی با مقاومت مطلوب در برابر بیماری بوده است که از اواسط دهه ۱۳۷۰ تاکنون در اقلیم گرم و مرطوب شمال کشور معرفی شده‌اند. همچنین، با توجه به گزارش بیماری بلایت فوزاریومی سنبله از اقلیم گرم و خشک جنوب و خطر شیوع بیماری در مناطقی از این اقلیم از جمله خوزستان، با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری در این اقلیم، بررسی‌هایی روی مواد امیدبخش این اقلیم نیز انجام شده است. براساس نتایج یکی از این بررسی‌ها، تاکنون دو لاین امیدبخش S-92-6 و S-92-7 از نظر همه متغیرهای مرتبط با مقاومت به بیماری در وضعیت مطلوبی بوده‌اند (ملیحی پور و همکاران ۱۳۹۷).

تحقیق حاضر به‌منظور آنالیز مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در تعدادی از ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش مربوط به اقلیم گرم و خشک جنوب در شرایط مزرعه و گلخانه انجام شد. بنا بر نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، ژنوتیپ‌های با مقاومت

1. Sumai 3
2. Nobeokabouzu-komugi
3. Shinchunaga
4. Nyu Bai
5. Frontana
6. Encruzilhada
7. Arina
8. Renan
9. Praag-8

مطلوب در برابر این بیماری به منظور استفاده در ادامه برنامه‌های به‌نژادی اقلیم مذکور و احتمال معرفی آنها در سطح این اقلیم پیشنهاد خواهند شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی

در تحقیق حاضر، تعداد ۲۸ ژنوتیپ گندم امیدبخش مربوط به اقلیم گرم و خشک جنوب به‌اضافه رقم شاهد حساس فلات (جدول ۱) مورد استفاده و آزمایش قرار گرفتند. از بین ژنوتیپ‌های آزمایشی اشاره شده، دو شماره ۱ و ۲۸ به ترتیب ارقام شاهد تجاری چمران و چمران ۲ هستند که در زمان اجرای تحقیق حاضر در اقلیم گرم و خشک کشت می‌شدند و ۲۶ شماره باقیمانده، لاین‌های امیدبخشی هستند که براساس نتایج آزمایش حاضر و سایر آزمایشات به‌نژادی و به‌زراعی، امید می‌رود برخی از آنها با نام ارقام جدید در سطح این اقلیم معرفی شوند.

**جدول ۱.** جزئیات ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب به همراه شاهد حساس به بیماری به منظور ارزیابی مقاومت نسبت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله.

نام یا شجره	لاین/رقم
چمران (شاهد تجاری)	S-93-1
WHEAR//2*PRL/2*PASTOR	S-93-2
FRET2/KUKUNA//FRET2/3/PASTOR//HXL7573/2*BAU/5/FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ	S-93-3
PBW343*2/KUKUNA//PARUS/3/PBW343*2/KUKUNA	S-93-4
PASTOR/3/URES/JUN//KAUZ/4/WBL1	S-93-5
TEPOCA+LR34/ATTILA//TILHI/3/ATTILA*2/PBW65	S-93-6
PGO/SERI//BAU/3/DUCULA/4/FRET2/KUKUNA//FRET2	S-93-7
ROLF07/YANAC	S-93-8
SERI.1B*2/3/KAUZ*2/BOW//KAUZ/4/SAUAL	S-93-9
GK ARON/AG SECO 7846//2180/4/2*MILAN/KAUZ//PRINIA/3/BAV92	S-93-10
SOKOLL/ROLF07	S-93-11
SOKOLL//FRTL/2*PIFED	S-93-12
ATTILA/BAV92//PASTOR/3/ATTILA*2/PBW65	S-93-13
SOKOLL*2/3/PASTOR//MUNIA/ALTAR 84	S-93-14
ROLF07/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	S-93-15
ATTILA/BAV92//PASTOR/3/ATTILA*2/PBW65	S-93-16
YAR/AE.SQUARROSA (518)/3/PRL/SARA//TSI/VEE#5/4/ATTILA/5/BERKUT	S-93-17
ATTILA*2/PBW65/6/PVN//CAR422/ANA/5/BOW/CROW//BUC/PVN/3/YR/4/TRAP#1/7/ATTILA/2*PASTOR	S-93-18
WHEAR/SOKOLL	S-93-19
MARCHOUC*4/SAADA/3/2*FRET2/KUKUNA//FRET2	S-93-20
KAUZ//ALTAR 84/AOS/3/MILAN/KAUZ/4/OTUS/TOBA97	S-93-21
ONIX/ROLF07	S-93-22
BABAX/LR42//BABAX/3/BABAX/LR42//BABAX/4/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR/5/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA	S-93-23
SOKOLL/ROLF07	S-93-24
CNDO/R143//ENTE/MEXI_2/3/AEGILOPS SQUARROSA (TAUS)/4/WEAVER/5/2*JANZ/6/SOKOLL	S-93-25
ROLF07/3/T.DICOCCON PI94625/AE.SQUARROSA (372)//3*PASTOR	S-93-26
GOUBARA-1/2*SOKOLL	S-93-27
چمران-۲ (شاهد تجاری)	S-93-28
فلات (شاهد حساس به بیماری)	29

**تهیه مایه تلقیح بیماری**

برای تهیه مایه تلقیح بیماری به منظور انجام مایه‌زنی‌های خزانه‌های آزمایشی در دو منطقه گرگان و مغان، مخلوط پنج جدایه 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. تهیه مایه تلقیح با استفاده از روش تعدیل شده وگنر (Wegene 1992) انجام شد. برای این منظور، در ارلن‌های به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر میزان ۵ گرم کاه گندم آسیاب شده به همراه ۱۲۵ میلی‌لیتر آب لوله‌کشی شهری ریخته شده و به فاصله ۲۴ ساعت دو بار در اتوکلاو استریل شد. پس از این مرحله، قطعه‌های کوچکی به قطر حدود ۳-۵ 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 ۲۵-۳۰°C قرار داده شدند. پس از گذشت حدود ۹۶ ساعت اسپورهای فراوانی از قارچ به دست آمد. مایه تلقیح به‌دست‌آمده در این روش از پارچه لمل عبور داده شد تا بقایای قارچی روی پارچه 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**

ژنوتیپ‌های آزمایشی در قالب طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در ایستگاه-های تحقیقات کشاورزی گرگان (عراقی‌محله) و مغان و سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان که از 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 آزمایشات در نظر گرفته شدند. برای اجرای آزمایش‌ها، در فصل کاشت (اواخر پاییز)، هر کدام از ژنوتیپ‌های آزمایشی روی یک خط ۱/۵ متری کاشته شده و عملیات معمول داشت (آبیاری، کوددهی، مدیریت علف‌های هرز و ...) به‌منظور رساندن گیاهان به مرحله سنبله‌دهی انجام شد. به‌محض آنکه هر ژنوتیپی به ۵۰ درصد گل‌دهی رسید، اقدام به مایه‌زنی سنبله‌های آن از طریق اسپورپاشی با سوسپانسیون اسپورهای قارچ عامل بیماری (در غلظت  $5 \times 10^4$  اسپور در هر میلی‌لیتر از سوسپانسیون) به کمک یک سمپاشی ۲۵ لیتری موتوردار چینی مدل آوشنگ<sup>۱</sup> در گرگان و سمپاش ۲۰ لیتری دستی چینی مدل تسلا<sup>۲</sup> در مغان گردید طوری که سنبله‌های مایه‌زنی شده کاملاً خیس شدند. عملیات مذکور یک بار دیگر دو روز بعد تکرار شد. برای کمک به توسعه بیماری، آبیاری مه‌پاش (میست)<sup>۳</sup> در خزانه‌های آزمایشی برقرار شد. حدود سه هفته پس از نخستین اسپورپاشی، یادداشت‌برداری از بیماری شامل میزان وقوع<sup>۴</sup> و شدت بیماری<sup>۵</sup> انجام شد. میزان وقوع بیماری از طریق محاسبه درصد سنبله‌های آلوده در هر خط کاشت و شدت بیماری بر اساس یک مقیاس ۱۰۰-۰ درصد به صورت مشاهده‌ای برای هر خط کاشت (Malihipour 2010; Malihipour et al.) تعیین گردید. همچنین، شاخص بیماری<sup>۶</sup> ژنوتیپ با تقسیم کردن حاصل ضرب میزان وقوع در شدت بیماری بر عدد ۱۰۰ محاسبه شد (Stack and McMullen 1994). 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 ژنوتیپ گردید.

1. potato dextrose agar
2. Aosheng
3. Tesla
4. mist
5. disease incidence
6. disease severity
7. disease index

E-mail:

تلفن:

\* نویسنده مسئول:

## ارزیابی گلخانه‌ای

برای بررسی واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط گلخانه (کرج) نیز از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. برای انجام این بررسی، اواسط پاییز ۱۳۹۴ گلدان‌های آزمایشی به قطر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که در آنها مخلوط خاک معمولی و پیت ماس (به ترتیب به نسبت ۷۰ درصد خاک معمولی و ۳۰ درصد پیت ماس) ریخته شده بود، به عنوان واحدهای آزمایشی در نظر گرفته شدند و تعداد ۱۰-۸ بذر از هر کدام از ژنوتیپ‌های آزمایشی در آنها کاشته شدند. گلدان‌های حاوی بذر به مدت یک هفته در گلخانه با دمای  $25-30^{\circ}\text{C}$  قرار داده شدند تا سبز شوند. به منظور 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  $25-30^{\circ}\text{C}$  گردید تا به سنبله بروند. به محض آنکه هر سنبله از هر ژنوتیپ به ۵۰ درصد گل‌دهی خود رسید، اقدام به مایه‌زنی نقطه‌ای گلچه میانی آن با ۱۰ میکرولیتر از سوسپانسیون اسپورهای قارچ عامل بیماری (در غلظت  $5 \times 10^4$  اسپور در هر میلی‌لیتر از سوسپانسیون) به کمک یک سمپلر دستی گردید. به منظور کمک به حفظ رطوبت روی سنبله‌ها و تسریع در گرفتن بیماری، سنبله‌ها بعد از زمان مایه‌زنی به مدت ۴۸ ساعت با کمک پاکت‌های مخصوص تلاقی پوشانده شدند. سه هفته بعد از مایه‌زنی هر سنبله، درصد پیشرفت بیماری (شدت بیماری) از طریق تعیین نسبت سنبله‌های آلوده به کل سنبله‌های سنبله تعیین گردید. سپس اقدام به میانگین‌گیری از میزان درصد بیماری سنبله‌های مایه‌زنی شده برای هر گلدان (تکرار) گردید.

## تجزیه داده‌ها

به منظور تجزیه داده‌های جمع‌آوری شده از مزرعه و گلخانه و مقایسه میانگین بیماری ژنوتیپ‌های آزمایشی، از نرم‌افزار SAS v 9.1 (SAS Institute Inc., Raleigh, NC, USA) استفاده شد. قبل از انجام تجزیه واریانس، داده‌های فنوتیپی با استفاده از رویه PROC UNIVARIATE برای نرمال بودن مورد آزمایش قرار گرفتند و در صورت عدم تبعیت اشتباهات باقیمانده از توزیع نرمال، روی داده‌ها عملیات تبدیل داده آرکسینوس<sup>۲</sup> انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از رویه PROC GLM و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. با توجه به اینکه جهت تجزیه داده‌های مزرعه‌ای، داده‌های به‌دست آمده از اجرای آزمایش‌ها در چند محیط استفاده شدند، تجزیه واریانس مرکب روی آنها انجام شد. در مدل آماری مربوطه، اثر ژنوتیپ ثابت<sup>۳</sup> و اثرات محیط و بلوک تصادفی<sup>۴</sup> در نظر گرفته شد. در مدل آماری مربوط به تجزیه داده‌های گلخانه‌ای نیز اثر ژنوتیپ ثابت و اثر بلوک تصادفی در نظر گرفته شد. همچنین، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی براساس نتایج مقایسه میانگین برای صفات مختلف با استفاده از روش کتاتا و همکاران (Ketata et al. 1989) انجام گرفت. به این صورت که در ابتدا رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر پایه مقایسه میانگین آنها برای هر کدام از صفات به‌طور جداگانه انجام گرفت و سپس با جمع کردن رتبه اکتسابی هر ژنوتیپ برای صفات مختلف و میانگین‌گیری از آنها، اقدام به تعیین رتبه نهایی هر ژنوتیپ بر این اساس شد.

## نتایج

### نتایج بررسی در شرایط مزرعه

1. residual
2. arcsine
3. fixed
4. random

ارزیابی ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط مزرعه در سه محیط مختلف و تجزیه مرکب داده‌های مربوط به میزان وقوع بیماری (جدول ۲) نشان داد که اثرات دو عامل محیط و ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد روی این صفت معنی‌دار ولی اثر متقابل آنها غیرمعنی‌دار است. برای نشان دادن اثر محیط روی این صفت، 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 مغان در سال دوم اجرای آزمایش دارای بالاترین و همین منطقه در سال اول دارای پایین‌ترین میانگین وقوع بیماری بوده است. از نظر مقایسه میانگین وقوع بیماری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی (جدول ۴)، لاین آزمایشی S-93-27 با میانگین بیماری ۱۷/۶ درصد و قرار گرفتن در گروه d، که از میانگین وقوع بیماری همه ژنوتیپ‌های آزمایشی دیگر پایین‌تر است، از نظر مقاومت به بیماری بهترین وضعیت را داشته است. دو لاین آزمایشی S-93-17 و S-93-12 نیز به ترتیب با داشتن میانگین‌های وقوع بیماری ۱۸/۰ و ۲۱/۵ درصد و قرار گرفتن در گروه cd، بعد از لاین آزمایشی S-93-27 از مقاوم‌ترین لاین‌ها در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند. برعکس، لاین آزمایشی S-93-4 با دارا بودن بالاترین میانگین وقوع بیماری (۴۶/۴ درصد) در گروه a قرار گرفت که با توجه به میانگین وقوع بیماری ۴۵/۸ درصد برای شاهد حساس فلات و قرار گرفتن آن در گروه ab، فاقد تفاوت معنی‌دار با آن بود. همچنین، میانگین وقوع بیماری شاهد‌های تجاری چمران (S-93-1) و چمران ۲ (S-93-28) به ترتیب ۳۱/۸ و ۳۲/۷ درصد به دست آمد و هر دوی آنها با هم در یک گروه (abcd) قرار گرفتند.

**جدول ۲.** تجزیه واریانس مرکب داده‌های مرتبط با مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به دست آمده از واکنش ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در شرایط مزرعه\*.

منبع تغییر (SV)	درجه آزادی (df)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	مقدار F (F value)	Pr > F
<b>وقوع بیماری:</b>					
محیط	۲	۸/۸۲۹۵	۴/۴۱۴۷	۲۸/۹۰	۰/۰۰۰۸
خطای نوع I	۶	۰/۹۱۶۴	۰/۱۵۲۷	۶/۰۹	< ۰/۰۰۰۱
ژنوتیپ	۲۸	۱/۶۵۸۰	۰/۰۵۹۲	۲/۳۶	۰/۰۰۰۴
ژنوتیپ x محیط	۵۶	۱/۳۳۲۷	۰/۰۲۳۸	۰/۹۵	۰/۵۷۹۲
خطای نوع II	۱۶۸	۴/۲۱۱۱	۰/۰۲۵۱	-	-
کل	۲۶۰	۱۶/۹۴۷۷	-	-	-
ضریب تنوع (CV): ۲۸/۵۰					
<b>شدت بیماری:</b>					
محیط	۲	۱/۶۴۹۷	۰/۸۲۴۸	۱۷/۴۴	۰/۰۰۳۲
خطای نوع I	۶	۰/۲۸۶۸	۰/۰۴۷۳	۲/۲۱	۰/۰۴۴۹
ژنوتیپ	۲۸	۱/۱۲۱۱	۰/۰۴۰۰	۱/۸۷	۰/۰۰۸۶
ژنوتیپ x محیط	۵۶	۱/۶۸۸۵	۰/۰۳۰۲	۱/۴۱	۰/۰۵۱۱
خطای نوع II	۱۶۸	۳/۶۰۳۹	۰/۰۲۱۵	-	-
کل	۲۶۰	۸/۳۴۷۰	-	-	-
ضریب تنوع (CV): ۱۴/۱۳					
<b>شاخص بیماری:</b>					
محیط	۲	۷/۳۷۱۵	۳/۶۸۵۷	۲۶/۹۰	۰/۰۰۱۰
خطای نوع I	۶	۰/۸۲۲۱	۰/۱۳۷۰	۶/۳۶	< ۰/۰۰۰۱
ژنوتیپ	۲۸	۱/۵۷۴۶	۰/۰۵۶۲	۲/۶۱	< ۰/۰۰۰۱
ژنوتیپ x محیط	۵۶	۱/۳۰۲۴	۰/۰۲۳۳	۱/۰۸	۰/۳۴۹۴

-	-	۰/۰۲۱۶	۳/۶۲۰۵	۱۶۸	خطای نوع II
-	-	-	۱۴/۶۹۱۱	۲۶۰	کل
ضریب تنوع (CV): ۲۱/۱۱					
<b>دانه‌های آلوده به فوزاریوم (FDK):</b>					
< ۰/۰۰۰۱	۶۲/۵۷	۱/۶۰۹۸	۳/۲۱۹۷	۲	محیط
< ۰/۰۰۰۱	۵/۲۰	۰/۰۲۵۷	۰/۱۵۴۴	۶	خطای نوع I
< ۰/۰۰۰۱	۴/۶۰	۰/۰۲۲۸	۰/۶۳۷۴	۲۸	ژنوتیپ
۰/۳۴۹۴	۰/۹۴	۰/۰۰۴۷	۰/۲۶۰۴	۵۶	ژنوتیپ x
-	-	۰/۰۰۴۹	۰/۸۲۱۳	۱۶۶	محیط
-	-	-	۵/۰۹۸۹	۲۵۸	خطای نوع II
کل					
ضریب تنوع (CV): ۲۷/۶۷					

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

تجزیه داده‌های مربوط به شدت بیماری (جدول ۲) نشان داد که اثرات هر یک از دو عامل محیط و ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل این دو در سطح احتمال ۵ درصد روی این صفت معنی‌دار هستند. در رابطه با اثر محیط روی شدت بیماری، محاسبه و میانگین شدت بیماری در سه محیط آزمایشی مورد نظر نشان داد که همانند صفت وقوع بیماری، منطقه مغان در سال دوم اجرای آزمایش دارای بالاترین میانگین شدت بیماری و همین منطقه در سال اول دارای پایین‌ترین میانگین شدت بیماری می‌باشند. از نظر مقایسه میانگین شدت بیماری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی، سه لاین آزمایشی S-93-10، S-93-17 و S-93-27 به ترتیب با میانگین‌های بیماری ۶۴/۴ درصد (گروه C)، ۶۵/۶ درصد (گروه bc) و ۶۶/۱ درصد (گروه abc)، دارای پایین‌ترین میانگین‌های شدت بیماری از بین ژنوتیپ‌های آزمایشی بودند (داده‌ها و جدول مقایسه میانگین نشان داده نشده‌اند). برعکس، لاین آزمایشی S-93-6 با دارا بودن بالاترین میانگین شدت بیماری (۸۴/۸ درصد) و قرار گرفتن در گروه a، با شاهد حساس که با داشتن میانگین شدت بیماری ۸۳/۷ درصد در گروه ab قرار گرفت، تفاوت معنی‌دار نداشت. در این بررسی، میانگین شدت بیماری دو شاهد تجاری چمران و چمران ۲ به ترتیب ۷۷/۴ و ۷۲/۵ درصد به دست آمد و هر دوی آنها در گروه abc قرار گرفتند. با توجه به اثر متقابل محیط × ژنوتیپ، که نشان دهنده واکنش ویژه (حساس‌تر یا مقاوم‌تر بودن) یک یا چند ژنوتیپ از ژنوتیپ‌های آزمایشی در برخی از محیط‌های اجرای آزمایشی است، مقایسه میانگین شدت بیماری ژنوتیپ‌های آزمایشی در سه محیط مختلف نشان داد در حالی که لاین آزمایشی S-93-14 با داشتن پایین‌ترین میانگین شدت بیماری در سال اول اجرای آزمایش هم در گرگان و هم در مغان، در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی به‌طور معنی‌داری مقاومت بالاتری داشته است (داده‌ها و جدول مقایسه میانگین نشان داده نشده‌اند). همین لاین با اینکه در سال دوم اجرای آزمایش در منطقه مغان نیز پایین‌ترین میانگین شدت بیماری را داشته است اما میزان بیماری آن در مقایسه با سایر لاین‌های آزمایشی معنی نبوده است.

تجزیه داده‌های مربوط به شاخص بیماری (جدول ۲) نشان داد که همانند وقوع بیماری اثرات هر یک از عامل‌های محیط و ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد روی این صفت معنی‌دار ولی اثر متقابل این دو عامل روی این صفت غیرمعنی‌دار است. در ارتباط با اثر محیط بر روی این صفت، محاسبه و مقایسه میانگین شاخص بیماری در سه محیط مورد آزمایش نشان داد که همانند دو صفت وقوع و شدت بیماری، منطقه مغان در سال دوم و همین منطقه در سال اول اجرای آزمایش به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین میانگین شاخص بیماری را داشته‌اند. شاخص بیماری از نظر انتخاب ارقام و لاین‌های آزمایشی شاخص بسیار مهمی 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 به دست آمده از سه محیط مختلف صورت گرفته است، در

جدول ۴ نمایش داده شده‌اند. همان طوری که مشاهده می‌شود لاین آزمایشی S-93-27 با دارا بودن پایین‌ترین میانگین شاخص بیماری (۱۲/۰ درصد) در گروه d، شاهد حساس فلات با بالاترین میانگین شاخص بیماری (۳۷/۳ درصد) در گروه a و سایر ژنوتیپ‌ها با داشتن میانگین شاخص‌های بیماری بین این دو رقم، در سایر گروه‌های بین این دو گروه قرار گرفته‌اند. در این بررسی، دو لاین آزمایشی S-93-17 و S-93-12 به ترتیب با داشتن میانگین‌های شاخص بیماری ۱۲/۴ و ۱۴/۱ درصد و قرار گرفتن در گروه cd، بعد از لاین آزمایشی S-93-27 از مقاوم‌ترین لاین‌ها در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بودند. در تحقیق حاضر، دو شاهد تجاری چمران و چمران ۲ به ترتیب با میانگین شاخص‌های بیماری ۲۴/۹ و ۲۶/۳ درصد و قرار گرفتن در گروه abcd دارای واکنش مشابهی در برابر بیماری بلایت فوزاریومی سنبله بودند.

تجزیه داده‌های مربوط به آلودگی دانه‌های گندم به بیماری (جدول ۲) نشان داد که اثرات هر یک از دو عامل محیط و در سطح احتمال ۱ درصد روی این صفت معنی دار و اثر متقابل این دو روی آن غیرمعنی دار است. در رابطه با اثر محیط روی این صفت، میانگین آلودگی دانه در محیط‌های مختلف نشان داد که همانند سایر صفات گفته شده در این بررسی، منطقه مغان در سال دوم بالاترین میانگین آلودگی و همین منطقه در سال اول اجرای آزمایش پایین‌ترین میزان آلودگی را داشته است. از نظر مقایسه میانگین آلودگی دانه بین ژنوتیپ‌های آزمایشی (جدول ۴)، لاین آزمایشی S-93-15 با میانگین آلودگی دانه ۲/۴ درصد و قرار گرفتن در گروه g، که از میانگین آلودگی دانه همه ژنوتیپ‌های آزمایشی دیگر پایین‌تر است، از نظر مقاومت به دانه بهترین وضعیت را داشته است. بعد از آن، دو لاین آزمایشی S-93-23 و S-93-24 به ترتیب با میانگین‌های آلودگی دانه ۳/۸ و ۴/۰ درصد و قرار گرفتن در گروه fg، در جایگاه‌های بعدی قرار داشتند. شاهد حساس فلات نیز با میزان آلودگی ۱۲/۴ درصد و قرار گرفتن در گروه a، بیشترین حساسیت را به آلودگی دانه نشان داد. در این بررسی، دو شاهد تجاری چمران و چمران ۲ به ترتیب با میزان آلودگی ۸/۷ و ۸/۲ درصد و قرار گرفتن در گروه abcd، دارای واکنش بسیار مشابه بودند.

### نتایج بررسی در شرایط گلخانه

تجزیه ساده داده‌های مربوط به میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های مایه‌زنی شده (شدت بیماری) در شرایط کنترل شده گلخانه (جدول ۳) نشان داد که در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های آزمایشی وجود دارد. مقایسه میانگین میزان شدت بیماری به روش دانکن در سطح احتمال ۱ درصد (جدول ۴) نشان داد که دو لاین آزمایشی S-93-25 و S-93-6 به ترتیب با میانگین‌های شدت بیماری ۵۱/۵ و ۵۴/۳ درصد و قرار گرفتن در گروه c، به‌طور نسبی از بقیه ژنوتیپ‌های آزمایشی حساسیت کمتری در برابر بیماری دارند. بعد از آن سه لاین آزمایشی S-93-11، S-93-17 و S-93-13 به ترتیب با میانگین‌های شدت بیماری ۵۹/۸، ۶۰/۵ و ۶۱/۱ درصد در گروه bc قرار داشتند. همچنین، دو لاین آزمایشی S-93-26 و S-93-22 به ترتیب با میانگین‌های شدت بیماری ۱۰۰ و ۹۹/۸ درصد و قرار گرفتن در گروه a، بالاترین حساسیت به این بیماری را نشان دادند. دو شاهد تجاری چمران (S-93-1) و چمران ۲ (S-93-28) نیز به ترتیب با کسب میانگین‌های شدت بیماری ۷۲/۹ و ۷۳/۵ درصد (هر دو در گروه ab)، به ترتیب جایگاه دهم و یازدهم جدول را از نظر مقاومت به بیماری به خود اختصاص دادند.

جدول ۳. تجزیه واریانس ساده داده‌های مربوط به میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های مایه‌زنی شده (شدت بیماری) به دست آمده از واکنش ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در برابر بیماری بلایت فوزاریومی در شرایط کنترل شده گلخانه\*.

Pr > F	مقدار F (F value)	میانگین مربعات (MS)	مجموع مربعات (SS)	درجه آزادی (df)	منبع تغییر (SV)
۰/۰۷۱۴	۲/۷۷	۰/۱۴۹۱	۰/۳۹۸۳	۲	بلوک
۰/۰۰۴۳	۲/۲۹	۰/۱۲۳۱	۳/۴۴۹۵	۲۸	ژنوتیپ
-	-	۰/۰۵۳۹	۳/۰۱۷۴	۵۶	خطا
-	-	-	۶/۷۶۵۳	۸۶	کل

ضریب تنوع (CV): ۲۰/۴۱

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

### رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی

رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی براساس میانگین رتبه‌های به‌دست آمده از چهار صفت میزان وقوع بیماری در شرایط مزرعه، میزان پیشرفت بیماری در سنبله مایه‌زنی شده (شدت بیماری) در شرایط گلخانه و میزان شاخص بیماری و آلودگی دانه در شرایط مزرعه (جدول ۵) نشان داد که هفت لاین آزمایشی S-93-25، S-93-23، S-93-12، S-93-24، S-93-27، S-93-10 و S-93-13 به‌ترتیب با کسب میانگین رتبه‌های ۳/۸ تا ۸/۳، به‌عنوان برترین لاین‌ها از بین ۲۸ ژنوتیپ مورد بررسی هستند. سه لاین آزمایشی S-93-17، S-93-11 و S-93-15 نیز به‌ترتیب با دارا بودن میانگین رتبه‌های ۹/۵ تا ۱۱/۰، از نظر مقاومت به بیماری در جایگاه‌های بعدی قرار داشتند. در این بررسی، شاهد حساس فلات با کسب بالاترین میانگین رتبه (۲۶/۳)، به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ در پایین جدول قرار گرفت.

### بحث

برای انجام مایه‌زنی‌ها در بررسی حاضر از مخلوطی از چند جدایه از قارچ عامل بیماری با قدرت تهاجمی متفاوت به‌عنوان نماینده وضعیت واقعی مناطق مورد آزمایش استفاده گردید. این کار که در تحقیقات مربوط به این بیماری بسیار مرسوم است، با هدف شبیه‌سازی بهتر شرایط مزرعه، جلوگیری از انحراف واکنش به سمت جدایه‌ای خاص (با قدرت تهاجمی کم یا زیاد) و پوشش طیف ژنتیکی و فاکتورهای بیماری‌زایی قارچ عامل بیماری با توجه به تفاوت جدایه‌های آنها در توان نفوذ به بافت گیاه، سرعت رشد، تولید مایکوتوکسین و سازگاری با شرایط محیطی و به‌منظور ایجاد طیف کامل‌تری از فشار بیماری روی ژنوتیپ‌های آزمایشی انجام می‌شود. این امر که در برنامه‌های اصلاح گندم برای مقاومت به این بیماری مهم است، ضمن افزایش پایداری نتایج آزمایش‌های بررسی مقاومت، نتایج واقعی‌تر و قابل‌اعتمادتری به‌دست می‌دهد.

**جدول ۵.** مقایسه میانگین داده‌های مرتبط با مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله به دست آمده از واکنش ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش اقلیم گرم و خشک جنوب در شرایط مزرعه و گلخانه، گروه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۱ درصد) و رتبه‌بندی آنها براساس هر کدام از صفات و میانگین آنها.

لاین/رقم	وقوع بیماری (مزرعه)	پیشرفت یا شدت بیماری (گلخانه)	شاخص بیماری (مزرعه)	دانه آلوده به فوزاریوم (مزرعه)	میانگین رتبه	انحراف معیار	مقادیر مربوط به صفات مرتبط با بیماری و رتبه آنها*
S-93-1 (Chamran)	۳۱/۸ abcd (۲۱)	۷۲/۹ ab (۱۰)	۲۴/۹ abcd (۱۹)	۸/۷ (۲۰)	۱۷/۵	۴/۳۹	
S-93-2	۳۵/۰ abcd (۲۵)	۷۳/۵ ab (۱۱)	۲۸/۳ abcd (۲۲)	۱۰/۰ (۲۲)	۲۰/۰	۵/۳۴	
S-93-3	۲۴/۶ abcd (۱۴)	۹۲/۶ ab (۲۳)	۱۶/۷ bcd (۱۱)	۴/۸ (۸)	۱۴/۰	۵/۶۱	
S-93-4	۴۶/۴ a (۲۹)	۹۱/۹ ab (۲۱)	۳۴/۲ ab (۲۵)	۶/۵ (۱۴)	۲۲/۳	۵/۵۴	
S-93-5	۲۳/۲ cd (۹)	۸۱/۵ ab (۱۶)	۱۶/۱ bcd (۷)	۷/۰ (۱۶)	۱۲/۰	۴/۰۶	
S-93-6	۳۶/۷ abcd (۲۶)	۵۴/۳ c (۲)	۳۰/۸ abc (۲۳)	۶/۰ (۱۲)	۱۵/۸	۹/۵۰	
S-93-7	۲۶/۴ abcd (۱۵)	۹۲/۴ ab (۲۲)	۱۹/۸ abcd (۱۴)	۷/۳ (۱۷)	۱۷/۰	۳/۰۸	
S-93-8	۲۳/۵ cd (۱۰)	۹۲/۷ ab (۲۴)	۱۹/۴ abcd (۱۲)	۵/۶ (۱۱)	۱۴/۳	۵/۶۷	
S-93-9	۳۴/۵ abcd (۲۴)	۸۰/۴ ab (۱۵)	۲۳/۹ abcd (۱۷)	۹/۳ (۲۱)	۱۹/۳	۳/۴۹	
S-93-10	۲۲/۵ cd (۷)	۷۵/۹ ab (۱۲)	۱۵/۸ bcd (۵)	۴/۶ (۶)	۷/۵	۲/۶۹	
S-93-11	۲۷/۴ abcd (۱۸)	۵۹/۸ bc (۳)	۲۰/۹ abcd (۱۶)	۴/۶ (۶)	۱۰/۸	۶/۳۸	
S-93-12	۲۱/۵ cd (۳)	۶۹/۳ ab (۸)	۱۴/۱ cd (۳)	۵/۵ (۱۰)	۶/۰	۳/۰۸	
S-93-13	۲۳/۷ cd (۱۱)	۶۱/۱ bc (۵)	۱۶/۶ bcd (۱۰)	۴/۷ (۷)	۸/۳	۲/۳۸	
S-93-14	۲۶/۸ abcd (۱۶)	۸۴/۰ ab (۱۷)	۲۰/۷ abcd (۱۵)	۶/۳ (۱۳)	۱۵/۳	۱/۴۸	
S-93-15	۲۷/۱ abcd (۱۷)	۷۶/۶ ab (۱۳)	۱۹/۷ abcd (۱۳)	۲/۴ (۱)	۱۱/۰	۶/۰۰	

۱/۹۲	۱۵/۸	۶/۷ (۱۵)	۲۰/۷ abcd (۱۵)	۷۸/۸ ab (۱۴)	۲۹/۳ abcd (۱۹)	S-93-16
۱۰/۱۶	۹/۵	۳/۴ (۵)	۱۲/۴ cd (۲)	۶۰/۵ bc (۴)	۱۸/۰ abc (۲)	S-93-17
۹/۰۴	۱۷/۳	۱۲/۲ (۳۴)	۳۱/۱ abc (۳۴)	۸۸/۱ ab (۱۹)	۳۹/۰ cd (۲۷)	S-93-18
۴/۲۶	۱۳/۸	۶/۵ (۱۴)	۱۶/۳ bcd (۸)	۹۱/۴ ab (۲۰)	۲۴/۲ bcd (۱۳)	S-93-19
۳/۳۴	۲۱/۸	۷/۴ (۱۸)	۲۶/۱ abcd (۲۰)	۹۸/۶ ab (۲۷)	۳۲/۱ abcd (۲۲)	S-93-20
۶/۲۶	۱۴/۳	۵/۵ (۱۰)	۱۶/۶ bcd (۱۰)	۹۳/۰ ab (۲۵)	۲۴/۱cd (۱۲)	S-93-21
۳/۷۷	۲۲/۳	۱۱/۲ (۲۳)	۲۴/۱ abcd (۱۸)	۹۹/۸ a (۲۸)	۳۱/۷ cd (۲۰)	S-93-22
۱/۶۴	۴/۸	۳/۸ (۲)	۱۶/۰ bcd (۶)	۶۸/۹ ab (۶)	۲۱/۸ cd (۵)	S-93-23
۲/۲۸	۶/۸	۴/۰ (۳)	۱۶/۴ bcd (۹)	۶۹/۱ ab (۷)	۲۳/۰ cd (۸)	S-93-24
۱/۷۹	۳/۸	۱/۴ (۴)	۱۵/۷ bcd (۴)	۵۱/۵ c (۱)	۲۲/۰ cd (۶)	S-93-25
۹/۶۰	۱۲/۸	۵/۱ (۹)	۱۶/۴ bcd (۹)	۱۰۰ a (۳۹)	۲۱/۶ cd (۴)	S-93-26
۶/۹۴	۶/۸	۴/۷ (۷)	۱۲/۰ d (۱)	۸۶/۴ ab (۱۸)	۱۷/۶ d (۱)	S-93-27
۵/۳۹	۱۸/۰	۸/۲ (۱۹)	۲۶/۳ abcd (۲۱)	۷۲/۳ ab (۹)	۳۲/۷ abcd (۲۳)	S-93-28 (Chamran- 29 (Falat)
۱/۰۹	۲۶/۳	۱۲/۴ (۲۵)	۳۷/۳ a (۲۶)	۹۵/۲ ab (۲۶)	۴۵/۸ ab (۲۸)	

\* اعداد سمت چپ در هر ستون، نشان دهنده مقادیر مربوط به میانگین صفات مرتبط با بیماری برای هر ژنوتیپ آزمایشی، حروف انگلیسی مربوطه، نشان دهنده گروه‌های مربوطه براساس آزمون دانکن و اعداد داخل پرانتز در سمت راست نشان دهنده رتبه ژنوتیپ‌های آزمایشی می‌باشند.

براساس نتایج به دست آمده از بررسی حاضر، سطح بالایی از بیماری در خزانه‌های آزمایشی ایجاد شد و ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط مطلوبی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. در هر حال، در اغلب موارد، از نظر صفات مورد بررسی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط مزرعه، بین سه محیط مورد استفاده برای کاشت و ارزیابی آنها تفاوت‌های معنی‌داری وجود داشت و سطح بیشتر صفات مرتبط با بیماری در سال اول اجرای آزمایش در منطقه مغان پایین‌تر از بقیه صفات و در سال دوم اجرای آزمایش بالاتر از بقیه بود. با وجود آنکه هر دو منطقه گرگان و مغان از نظر تقسیمات آب و هوایی و برنامه‌های به‌نژادی بخش تحقیقات غلات جزو اقلیم گرم و مرطوب شمال در نظر گرفته می‌شوند، تفاوت‌هایی از نظر عوامل مختلف آب و هوایی به‌ویژه از نظر دما، رطوبت و بارندگی بین این دو منطقه وجود دارد و با وجود اجرای آبیاری مشابه (میست) در هر دو منطقه، این تفاوت‌ها به‌ویژه تفاوت در دما می‌تواند کمابیش روی میزان بیماری بلایت فوزاریومی سنبله تأثیر بگذارد. با توجه به اینکه چنین تفاوت‌هایی می‌تواند بین دو سال اجرای آزمایش در یک منطقه نیز وجود داشته باشد، تفاوت در سطح بیماری در دو سال اجرای آزمایش در منطقه مغان ممکن است از چنین تفاوت‌هایی ایجاد شده باشد. تفاوت بین ژنوتیپ‌های آزمایشی نیز در ارتباط با هر کدام از صفات مورد بررسی در شرایط مزرعه و گلخانه معنی‌دار بود. این امر که نشان دهنده وجود تنوع در بین ژنوتیپ‌های آزمایشی می‌باشد، فرصتی را برای انتخاب لاین‌های آزمایشی برتر و حذف لاین‌های حساس فراهم کرد.

هدف نهایی از اصلاح گندم برای مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله، تولید ارقام پرمحصول با علائم بیماری کمتر و میزان توکسین پایین‌تر با وجود فشار بالای بیماری است. تاکنون پنج نوع مقاومت ژنتیکی نسبت به 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 ۱۹۶۳ توسط شرودر و کریستنسن (Schroeder and Christensen 1963) معرفی شدند. در برخی منابع، ترکیب دو نوع مقاومت گفته شده در بالا به نام مقاومت مزرعه‌ای معرفی شده (Schmolke et al. 2008) یا در ایجاد آن دخیل دانسته شده‌اند (Steiner et al. 2017; Schmolke et al. 2008). در هر حال، بعدها 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 نیز گزارش شدند (Mesterházy 1995; Miller et al. 1985; Wang and Miller 1988). 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 (مقاومت مزرعه‌ای) 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، 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 به دست می‌آید، نشان دهنده مقاومت مزرعه‌ای بدون امکان تفکیک آن به دو نوع مقاومت گفته شده است. به هر حال، با توجه به اینکه شاخص بیماری در واقع 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 ژنوتیپ‌های آزمایشی، انتخاب مواد، و تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت این بیماری بسیار مفید و تعیین کننده است. برای تعیین مقاومت‌های نوع III و IV به ترتیب میزان دی-اوکسی‌نیوالنول (DON) موجود در دانه‌های گندم و درصد دانه‌های آلوده به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله اندازه‌گیری می‌شود. براساس نتایج ارزیابی ژنوتیپ‌های آزمایشی نسبت به بیماری در شرایط مزرعه در بررسی حاضر، دو لاین S-93-27 و S-17-93 با دارا بودن میانگین وقوع بیماری حداکثر ۲۰ درصد، از نظر این صفت در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌های آزمایشی از بالاترین مقاومت برخوردار بودند. با توجه به اینکه وقوع بیماری مقاومت نوع I را نشان می‌دهد، پایین بودن اندازه این متغیر در دو لاین ذکر شده باید نشان دهنده مقاومت نوع I در آنها باشد. با وجود پایین بودن نسبی میانگین وقوع بیماری در این لاین‌ها، نگاه به داده‌های مربوط به میزان پیشرفت بیماری در سنبله‌های مایه‌زنی شده (شدت بیماری) به دست آمده از بررسی‌های گلخانه‌ای برای آنها نشان می‌دهد که هر دو لاین گفته شده دارای میانگین شدت بیماری بسیار بالا (به ترتیب ۸۶/۴ و ۸۸/۱ درصد) در شرایط گلخانه بوده‌اند. با توجه به اینکه شدت بیماری اندازه‌گیری شده در شرایط گلخانه نشان دهنده مقاومت نوع II است، به نظر می‌رسد که این لاین‌ها فاقد این نوع مقاومت می‌باشند. یکی از دو لاین گفته شده در بالا یعنی S-93-27، از نظر شاخص بیماری هم وضعیت مناسبی داشته و با دارا بودن میانگین شاخص بیماری ۱۲/۰ درصد، از مقاومت خوبی در برابر این بیماری برخوردار بود. با در نظر گرفتن این امر که شاخص بیماری ترکیبی از دو نوع مقاومت I و II را نشان می‌دهد و با توجه به پایین تر 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 لاین، ممکن است وقوع بیماری و به عبارت دیگر وجود مقاومت نوع I در لاین مذکور نقش برجسته‌تری در پایین آوردن این شاخص و محافظت از این لاین در برابر بیماری داشته باشد. در هر حال، پایین بودن شاخص بیماری لاین آزمایشی S-93-27، می‌تواند دلیل مهمی برای انتخاب آن از بین بقیه لاین‌های آزمایشی باشد. علاوه بر این لاین، دو لاین آزمایشی S-93-17 و S-93-12 نیز با دارا بودن شاخص بیماری نسبتاً پایین، در قسمت پایین جدول مقایسه میانگین‌ها قرار گرفتند. در حالی که در لاین S-93-17 میزان شدت بیماری در شرایط گلخانه در مقایسه با سایر لاین‌ها اندکی پایین تر بوده، در لاین S-93-12 میزان وقوع بیماری پایین بوده است. با توجه به این امر، ممکن است در این دو لاین به ترتیب وجود مقاومت نوع II و نوع I در پایین آوردن شاخص بیماری نقش بیشتری داشته باشند. سه لاین آزمایشی S-93-27، S-93-17 و S-93-12 با دارا بودن میانگین آلودگی دانه نسبتاً پایین (۴/۳ تا ۵/۵ درصد)، از این نظر هم جزو لاین‌های مناسب بودند. 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 می‌تواند به طور غیر مستقیم در این امر نقش داشته باشد. در هر حال، پایین تر بودن آلودگی دانه در این لاین‌ها می‌تواند دلیل دیگری برای

انتخاب آنها باشد. با توجه به موارد گفته شده در بالا، سه لاین آزمایشی S-93-27، S-93-17 و S-93-12 می‌توانند به‌عنوان لاین‌های منتخب و مناسب از نظر مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در نظر گرفته شوند. با توجه به اینکه ماهیت هر یک از انواع مقاومت مورد بررسی در ژنوتیپ‌های آزمایشی در شرایط مزرعه (مقاومت‌های نوع I و IV) و گلخانه (مقاومت نوع II) منحصر به فرد بوده و ممکن است توسط ژن‌ها یا QTL‌های متفاوتی کنترل شوند، مشاهده تفاوت در داده‌ها و نتایج به‌دست آمده از بررسی در شرایط مزرعه و گلخانه و در ارتباط با این نوع مقاومت‌ها دور از انتظار نیست. این نوع تفاوت‌ها و ناهمگونی‌ها در بررسی حاضر و در ارتباط با داده‌های مزرعه‌ای مربوط به میزان وقوع بیماری و آلودگی دانه (مورد استفاده به‌ترتیب برای اندازه‌گیری مقاومت‌های نوع I و IV) و داده‌های گلخانه‌ای مربوط به میزان پیشرفت یا شدت بیماری (مورد استفاده برای اندازه‌گیری مقاومت نوع II) وجود داشته‌اند. در ارتباط با داده‌های مزرعه‌ای شاخص بیماری (مورد استفاده برای اندازه‌گیری مقاومت مزرعه‌ای)، که در فرمول محاسبه آن از میزان وقوع و شدت بیماری استفاده می‌شود، اندازه آن بسته به بزرگی یا کوچکی هر یک از این دو متغیر تغییر می‌کند. البته چنانچه قرار باشد فقط یکی از انواع مقاومت‌ها (مثلاً مقاومت نوع II) در شرایط گلخانه و مزرعه بررسی شود، به‌علت تفاوت شرایط محیطی بین گلخانه و مزرعه از جمله ثبات دما در گلخانه در مقایسه با نوسانات دمایی زیاد، موج گرما یا سرما و وقوع استرس حرارتی در زمان آلودگی به بیماری در مزرعه، فراهم بودن رطوبت ایده‌آل در گلخانه در مقایسه با وقوع بارندگی‌های متناوب، وجود شبنم و وزش باد در مزرعه، تفاوت در فیزیولوژی رشد گیاه در ارتباط با سرعت رشد، آبدار بودن یا سفت بودن بافت‌های گیاهی و معماری بوته‌ها بین گلخانه و مزرعه و اثر میکروبیوم طبیعی از جمله قارچ‌های اپی‌فیت، باکتری‌ها و مخمرها روی بیماری در شرایط مزرعه، باز هم تفاوت‌ها و ناهمگونی‌های زیادی بین داده‌های مزرعه‌ای و گلخانه‌ای مشاهده شود.

بسته به نوع تقاضا، اهداف برنامه‌های به‌نژادی، منابع مقاومت در دسترس و امکانات موجود، ممکن است نوع مقاومتی که مطلوب است متفاوت باشد. تاکنون منابع مقاومت و QTL‌های زیادی در ارتباط با مقاومت نوع I گزارش نشده‌اند (Malhipour et al. 2017). در هر حال، دو ژن مقاومت *Fhb4* و *Fhb5* از گندم و ننگشویبای (Lin et al. 2006)، یک QTL با نام *Qfhi.nau-2D* از گندم Y158 (Yan et al. 2021)، یک QTL پایدار از گندم فرونتانا (Mardi et al. 2006)، هفت QTL از لاین مشتق شده از گندم سومای ۳ با نام DH181 (Yang et al. 2005) و یک QTL از گندم *Triticum macha* (Steed et al. 2005) برای این مقاومت گزارش شده است. مقاومت نوع II برخلاف مقاومت نوع I به‌طور گسترده‌ای در گندم مورد مطالعه قرار گرفته و به‌طور وسیعی در اصلاح گندم برای مقاومت به بیماری مورد استفاده قرار گرفته است، زیرا که این نوع مقاومت در گندم پایدارتر و ارزیابی آن هم آسان‌تر است (Bai and Shaner 2004). والدرون و همکاران (Waldron et al. 1999) با انتشار نتایج اولین بررسی مربوط به نقشه‌یابی QTL، پنج QTL را برای مقاومت نوع II گزارش کردند و طی آن QTL با بیشترین اثر را که در گندم سومای ۳ شناسایی شد، با نام *Qfhs.ndsu3BS* نامگذاری کردند. این QTL که بعداً به نام ژن مقاومت *Fhb1* نامگذاری شده است، بیشترین تأثیر را بر مقاومت نوع II دارد و در گندم‌های با زمینه‌های ژنتیکی مختلف دارای پایداری بالایی است (Bai et al. 2018). در سال‌های اخیر، صدها QTL مرتبط با مقاومت نوع II گزارش شده است (Buerstmayr et al. 2009) اگرچه بسیاری از این آنها فقط دارای اثرات جزئی روی کاهش بیماری بوده و بیان آنها به شدت تحت تأثیر محیط، پیشینه ژنتیکی و روش مایه‌زنی بوده است. در بسیاری از موارد ممکن است وجود هر کدام از مقاومت‌های نوع I یا نوع II به تنهایی نتواند سطح کافی از مقاومت به بیماری در گندم ایجاد کند. بنابراین، همی کردن ژن‌ها

1. quantitative trait loci
2. microbiome
3. epiphyte
4. Wangshuibai
5. Frontana

یا QTL‌های القا کننده این دو نوع مقاومت در گندم می‌تواند ایده خوبی باشد. مقاومت نوع III که مقاومت در برابر تجمع مایکوتوکسین بوده (Miller et al. 1985) و برای کیفیت نهایی دانه بسیار مهم است، می‌تواند به‌عنوان جزئی از مقاومت نوع II نیز در نظر گرفته می‌شود زیرا معمولاً توسعه بیماری در بافت گیاه را کاهش می‌دهد (Mahmood et al. 2020). همچنین، مشخص شده است که این نوع مقاومت با مقاومت‌های نوع I و نوع II همبستگی بالایی دارد (Paul et al. 2006). مقاومت نوع III که توضیح داده شد و مقاومت نوع IV که وقوع دانه‌های آلوده به فوزاریوم را کاهش می‌دهد، به دلیل نگرانی فزاینده جهانی در مورد کیفیت دانه گندم و آلودگی آنها به مایکوتوکسین، توجه زیادی را از سوی تولید کنندگان گندم به خود جلب کرده‌اند. با توجه به این امر، ممکن است در برخی برنامه‌های به‌نژادی، اصلاح گندم برای این نوع مقاومت‌ها به‌طور اختصاصی در اولویت قرار گیرد یا همراه با سایر انواع مقاومت‌ها توجه بیشتری به آنها معطوف شود.

با توجه به اهمیت و نقش متغیرهای اندازه‌گیری شده در بررسی حاضر شامل میزان وقوع بیماری (مزرعه) و پیشرفت یا شدت بیماری (گلخانه) به ترتیب در مقاومت‌های نوع I و نوع II، شاخص بیماری (مزرعه) که خود نشان دهنده مقاومت مزرعه‌ای می‌باشد و نیز نقش دانه‌های آلوده به فوزاریوم (مزرعه) در مقاومت نوع IV، به نظر می‌رسد که تعیین رتبه ژنوتیپ‌های آزمایشی با در نظر گرفتن همه این متغیرها می‌تواند ایده مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های 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 ژنوتیپ‌های 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، به ترتیب هفت لاین آزمایشی S-93-25، S-93-23، S-93-12، S-93-24، S-93-27، S-93-10 و S-93-13 به‌عنوان برترین لاین‌ها شناسایی شدند. سه لاین آزمایشی S-93-17، S-93-11 و S-93-15 نیز بعد از لاین‌های مذکور نظر مقاومت به بیماری در جایگاه‌های بعدی قرار داشتند. دو لاین آزمایشی S-93-27 و S-93-17 از بین ۱۰ لاین گفته شده در بالا، براساس شاخص بیماری نیز جزو لاین‌های برتر تشخیص داده شده بودند. با توجه به نتایج حاضر و سایر نتایج به‌دست آمده در برنامه به‌نژادی گرم و خشک از بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، لاین آزمایشی S-93-15 با نام سحر جهت کشت در اقلیم گرم و خشک جنوب نامگذاری شده است (ملیحی پور و همکاران ۱۳۹۹). سایر لاین‌های گفته شده در بالا نیز نامزدهای مناسبی برای جایگزینی با رقم‌های قدیمی‌تر در این اقلیم می‌باشند.

بیماری بلایت فوزاریومی سنبله یکی از مهم‌ترین بیماری‌های شایع گندم در اقلیم گرم و مرطوب شمال است که علاوه بر کاهش عملکرد محصول مشکلات زیادی را از نظر بهداشتی و سلامتی و کیفیت بذر تولید شده در این اقلیم ایجاد می‌کند. با اینکه این بیماری قبلاً در مناطقی از اقلیم گرم و خشک جنوب به صورت اپیدمی درآمد و خساراتی به گندم وارد کرده است (ملیحی پور ۱۴۰۱) ولی به طور کلی این بیماری در این اقلیم دردساز نیست. به همین علت، ممکن است بتوان ژنوتیپ‌هایی با مقاومت متوسط را هم برای کشت در این اقلیم توصیه کرد مخصوصاً اگر این ژنوتیپ‌ها دارای عملکرد بالا و خصوصیات زراعی مطلوب باشند.

## سپاسگزاری

از آقایان مهندس اسماعیل ابراهیمی میمند، مهندس حسین بهلول و مهندس عزیز ناصری به ترتیب کارشناسان مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه 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 پروژه تحقیقاتی مصوب شماره ۹۳۳۴۲-۰۳-۰۳ همکاری

داشته‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. همه هزینه‌های اجرای این تحقیق از محل اعتبارات پروژه بالا توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین شده است

## منابع

- بامدادیان، علی و ترابی، محمد (۱۳۶۲). بیماری‌های مهم گندم و جو و نحوه یادداشت‌برداری از آنها. تهران: مؤسسه تحقیقات آفات و بیماری‌های گیاهی. ۶۷ ص.
- ملیحی پور، علی (۱۴۰۲). *بیماری بلایت فوزاریومی سنبله گندم*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ۲۶۸ ص.
- ملیحی پور، علی، دهقان، محمدعلی، شهبازی، کمال و اسماعیل‌زاده مقدم، محسن (۱۳۹۷). بررسی مقاومت به بیماری بلایت فوزاریومی سنبله در ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش سال ۱۳۹۲ اقلیم گرم و خشک جنوب کشور در شرایط مزرعه و گلخانه. *دانش گیاهپزشکی ایران*، ۴۹، ۴۱-۵۵.
- ملیحی پور، علی، اسماعیل‌زاده مقدم، محسن، نجفیان، گودرز، روستایی، مظفر، نجفی میرک، توحید، امینی، اشکبوس، خدارحمی، منوچهر و بختیار، فرشاد (۱۳۹۹). *ارقام گندم ایران (معرفی شده طی سال‌های ۱۳۱۰-۱۳۹۸)*. کرج: نشر آموزش کشاورزی. ۱۷۲ ص

## REFERENCES

- Arthur, J.C. (1891). Wheat scab. Indiana Agricultural Experiment Station Bulletin, 36, 129-138.
- Atanasoff, D. (1924). Fusarium blight of the cereal crops. Mededelingen van de Landbouwhogeschool, 27, 1-132.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.040803.140340>.
- Bai, G., Su, Z., & Cai, J. 2018. Wheat resistance to Fusarium head blight. Canadian Journal of Plant Pathology, 40, 336–346. DOI: 10.1080/07060661.2018.1476411.
- Ban, T. (1997). Evaluation of resistance to Fusarium head blight in indigenous Japanese species of *Agropyron* (*Elymus*). Euphytica, 97, 39-44. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1003078109694>.
- 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 S.M. Canty, A. Clark, K. Wolfe, & D. Van Sanford (Eds.), Proceedings of the 2016 National Fusarium Head Blight Forum (pp. 9-10). East Lansing, MI/Lexington, KY.
- 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. DOI: [10.1111/j.1439-0523.2008.01550.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2008.01550.x).
- Buerstmayr, H., Lemmens, M., Steiner, B., & Schweiger, W. (2020). Breeding for resistance to Fusarium head blight in wheat—Progress and challenges. Plant Pathology, 69, 564–575. DOI: [10.1111/pbr.12797](https://doi.org/10.1111/pbr.12797).
- 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. DOI: [10.1023/A:1022324727780](https://doi.org/10.1023/A:1022324727780).
- Chakraborty, S., & Newton, A.C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: An overview. Plant Pathology, 60, 2–14. DOI: [10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x).
- Chen, P. (2016). Improvement of wheat Fusarium head blight (FHB) resistance in China. In E.M. Del Ponte, G.C. Bergstrom, W. Pavan, A. Lazzaretti, & J.M.C. Fernandes (Eds.), Proceedings of the 5th International Symposium on Fusarium Head Blight (p. 18). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil.
- 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. DOI: [10.1046/j.1439-0523.2001.00630.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00630.x).
- Dexter, J.E., Clear, R.M., & Preston, K.R. (1996). Fusarium head blight: Effect on the milling and baking of some Canadian wheats. Cereal Chemistry, 73, 695-701.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., Clear, R.M., & Clarke, J.M. (1997). Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. Cereal Chemistry, 74, 519-525. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.5.519>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.1.71>.
- 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 a European winter wheat. Theoretical and Applied Genetics, 106, 961-970. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-002-1160-5>.
- Gilbert, J., & Tekauz, A. (2000). Review: Recent developments in research on Fusarium head blight of wheat in Canada. Canadian Journal of Plant Pathology, 22, 1–8. DOI: [10.1080/07060660009501155](https://doi.org/10.1080/07060660009501155).
- Hanson, E.W., Ausemus, E.R., & Stakman, E.C. (1950). Varietal resistance of spring wheats to

- Fusarial head blight. *Phytopathology*, 40, 902-914.
- Ketata, H., Yan, S.K., & Nachit, M. (1989). Relative consistency performance across environments. In *International Symposium on Physiology and Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments* (p. 391-400). Montpellier, France.
- Lin, F., Xue, S.L., Zhang, Z.Z., Zhang, C.Q., Kong, Z.X., Yao, G.Q., Tian, D.G., Zhu, H.L., Li, C.J., Cao, Y., Wei, J.B., Luo, Q.Y., & Ma, Z.Q. 2006. Mapping QTL associated with resistance to Fusarium head blight in the Nanda2419 × Wangshuibai population. II: Type I resistance. *Theoretical and Applied Genetics*, 112, 528–535. DOI: 10.1007/s00122-005-0156-3.
- Liu, W.X., Chen, P.D., & Liu, D.J. (2000). Radiation-induced Triticum aestivum-Leymus racemosus translocations and their molecular cytogenetic analysis. In *Proceedings of the International Symposium on Wheat Improvement for Scab Resistance*, May 5-10, 2000, Nanjing Agricultural University, Nanjing and Suzhou, China (pp. 73-76).
- Mahmood, K., Orabi, J., Kristensen, P.S., Sarup, P., Jorgensen, L.N., & Jahoor, A. 2020. A comparative transcriptome analysis, conserved regulatory elements and associated transcription factors related to accumulation of fusariotoxins in grain of rye (*Secale cereale* L.) hybrids. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 7418. DOI: 10.3390/ijms21197418.
- Malihipour, A. 2010. Genetic analysis of resistance to Fusarium head blight in wheat (*Triticum* spp.) using phenotypic characters and molecular markers. Ph.D. thesis, University of Manitoba, Canada. 269 pp.
- Malihipour, A., Gilbert, J., Fedak, G., Brûlé-Babel, A., and Cao, W. 2016. Characterization of agronomic traits in a population of wheat derived from *Triticum timopheevii* and their association with Fusarium head blight. *European Journal of Plant Pathology*, 144, 31-43. DOI: 10.1007/s10658-015-0744-2.
- Malihipour, A., Gilbert, J., Fedak, G., Brûlé-Babel, A., and 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-02-16-0144-RE>.
- Mardi, M., Buerstmayr, H., Ghareyazie, B., Lemmens, M., Mohammadi, S.A., Nolz, R., & Ruckebauer, P. 2006. QTL analysis of resistance to Fusarium head blight in wheat using a 'Frontana'-derived population. *Plant Breeding*, 125, 313–317. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2006.01228.x.
- McMullen, M., Jones, R., & Gallenberg, D. (1997). Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*, 81, 1340-1348. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.12.1340>.
- Mesterházy, A. (1995). Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. *Plant Breeding*, 114, 377-386. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1995.tb00816.x>.
- Miller, J.D., Young, J.C., & Sampson, D.R. (1985). Deoxynivalenol and Fusarium head blight resistance in spring cereals. *Journal of Phytopathology*, 113, 359-367. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1985.tb04837.x>.
- Obanor, F., Neate, S., Simpfendorfer, S., Sabburg, R., Wilson, P., & Chakraborty, S. (2013). Fusarium graminearum and Fusarium pseudograminearum caused the 2010 head blight epidemics in Australia. *Plant Pathology*, 62, 79-91. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02615.x>.
- Paul, P.A., Lipps, P., & Madden, L.V. 2006. Meta-analysis of regression coefficients for the relationship between Fusarium head blight and deoxynivalenol content of wheat. *Phytopathology*, 96, 951–961.
- Ruckebauer, P., Buerstmayr, H., & Lemmens, M. (2001). Present strategies in resistance breeding against scab (*Fusarium* spp.). *Euphytica*, 119, 121-127. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1017598523085>.
- Schmolke, M., Zimmermann, G., Schweizer, G., Miedaner, T., Korzun, V., Ebmeyer, E., & Hartl, L. 2008. Molecular mapping of quantitative trait loci for field resistance to Fusarium head blight in a European winter wheat population. *Plant Breeding*, 127, 459-464. DOI: 10.1111/j.1439-

- 0523.2007.01486.x.
- Schroeder, H.W., & Christensen, J.J. (1963). Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology*, 53, 831-838.
- Shah, D.A., de Wolf, E.D., Paul, P.A., & Madden, L.V. (2019). Functional data analysis of weather variables linked to Fusarium head blight epidemics in the United States. *Phytopathology*, 109, 96-110. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-17-0386-R>.
- 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. DOI: [10.1007/s00122-003-1492-9](https://doi.org/10.1007/s00122-003-1492-9).
- Snijders, C.H.A. (1990). Genetic variation for resistance to Fusarium head blight in bread wheat. *Euphytica*, 50, 171-179. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00023642>.
- 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.
- Steed, A., Chandler, E., Thomsett, M., Gosman, N., Faure, S., & Nicholson, P. 2005. Identification of type I resistance to Fusarium head blight controlled by a major gene located on chromosome 4A of *Triticum macha*. *Theoretical and Applied Genetics*, 111, 521-529. DOI: [10.1007/s00122-005-2043-3](https://doi.org/10.1007/s00122-005-2043-3).
- Steiner, B., Buerstmayr, M., Michel, S., Schweiger, W., Lemmens, M., & Buerstmayr, H. 2017. Breeding strategies and advances in line selection for Fusarium head blight resistance in wheat. *Tropical Plant Pathology*, 42, 165-174. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0127-7>.
- Torres, A.M., Palacios, S.A., Yerkovich, N., Palazzini, J.M., Battilani, P., Leslie, J.F., Logrieco, A.F., & 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. DOI: [10.3920/WMJ2019.2438](https://doi.org/10.3920/WMJ2019.2438).
- Turkington, T., Petran, A., Yonow, T., & Kriticos, D. (2016). *Fusarium graminearum*. HarvestChoice Pest Geography, University of Minnesota, St. Paul, MN.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900030032x>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1003028324059>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008643617661>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1988.tb00998.x>.
- Wegener, M. (1992). Optimierung von Saatgutpillierungen mit mikrobiellen Antagonisten zur biologischen Bekämpfung von *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Sacc. in Weizen. Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Germany.
- Xu, Y.-G., & Chen, L.-F. (1993). *Wheat scab: Theory and practice on control*. Jiangsu Science and Technology Publishing House, Nanjing, China.
- Yan, H., Li, G., Shi, J., Tian, S., Zhang, X., Cheng, R., Wang, X., Yuan, Y., Cao, S., Zhou, J., Kong, Z., Jia, H., & Ma, Z. 2021. Genetic control of Fusarium head blight resistance in two Yangmai 158-derived recombinant inbred line populations. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 3037-3049. DOI: [10.1007/s00122-021-03876-1](https://doi.org/10.1007/s00122-021-03876-1).
- 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. DOI: [10.1139/g04-104](https://doi.org/10.1139/g04-104)