University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 12, No. 3, Autumn 2022 (315-331)
doi: 10.22124/CR.2023.24093.1761
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Reaction of forage sorghum lines and hybrids to target leaf spot

Vahid Rahjoo[1*], Mohammad Taghi Feizbakhsh[2] and Azim Khazaei[3]

1. Research Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (*Corresponding author: v.rahjoo@areeo.ac.ir)
2. Research Associate Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
3. Research Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Target leaf spot of sorghum, caused by fungal species *Bipolaris sorghicola*, is considered as one of the most important leaf diseases in sorghum, so that occurrence before flowering, can lead to damage and reduction of more than 50% of grain yield. This disease is also significant in Iran and usually occurs in most of the humid regions of the country, where sorghum is cultivated. Since there are very few researches on leaf spot diseases in sorghum especially on the resistance of sorghum cultivars in the country, it seems necessary to carry out research in this field. Therefore, the present research was carried out with the aim of evaluating the response of different sorghum genotypes to leaf spot disease. The resistant genotypes identified in this research can be used to transfer favorable characteristics to the host plant in future breeding programs.

Materials and methods

To study the reaction of different forage sorghum genotypes to target leaf spot, 25 sorghum genotypes, including ten commercial hybrids and 15 promising lines were evaluated in a randomized complete block design with three replications in two regions, Karaj and Gorgan. Artificial inoculation of genotypes in the field was carried out with a mixture of several pathogenic isolates of the disease-causing fungus in two stages. The first, at the 3-4 leaf stage by injection of spore suspension (3 ml per each whorl) using a syringe stage, and the second, at the 6-8 leaf stage using the Bazooka method by placing 2-3 fungus infested sorghum grains in the whorl of each plant. To evaluate the reaction of genotypes and progress of the disease, characteristics such as percentage of disease incidence (DI%) and disease severity on each plant (DS%) were recorded two weeks after the last inoculation. In addition to the field experiment, the reaction of the genotypes to the disease was investigated in a greenhouse experiment based on a completely randomized design with three replications.

Research findings

The results of this experiment showed that there was a significant difference between the studied sorghum genotypes in terms of resistance or susceptibility to leaf spot. Comparison of genotypes showed that the disease severity of the studied lines and hybrids varied from 0.7% to 51.7% in the Karaj region, and from 1.7% to 66.3% in the Gorgan region. Hybrid No. 8 (FGCS110) with 0.7% and 1.7% disease severity in the Karaj and Gorgan regions, respectively, had the lowest disease severity and was recognized as the most resistant genotype in both regions. In contrast, line No. 2 (FGS109) with disease severity of 51.7% and 66.3% in Karaj and Gorgan regions, respectively, was the most susceptible genotype. Furthermore, a statistically significant difference was observed among the studied regions for disease severity of all genotypes, so that the recorded disease severity in Gorgan was higher than in Karaj. Also, there was a positive and significant correlation ($r = +0.74$, $p < 0.01$)

between disease severity (DS%) and disease incidence (DI%) measured in different sorghum genotypes in two studied locations. The results of greenhouse experiment also confirmed the results of field experiment.

Conclusion

The results of the current research led to the identification of resistant and semi-resistant sorghum genotypes to leaf spot among the studied genetic materials, which can be used in future breeding programs. The results obtained from the Karaj region showed that genotype No. 8 (foreign hybrid FGCS110) was highly resistant, line No. 13 and foreign hybrids No. 1, 6, 7, and 10 were resistant, and the number of 11 lines along with a foreign hybrid were semi-resistant. In the Gorgan region, foreign hybrids No. 7, 8, and 10 were resistant, and seven lines and five foreign hybrids also had a semi-resistant reaction to the disease, while no resistance reaction was observed in any of the studied lines in this region.

Key words: Disease severity, Genotype, Resistance, Susceptibility, *Bipolaris sorghicola*

Received: July 12, 2022 Accepted: October 08, 2022

Cite this article:

Rahjoo, V., Feizbakhsh, M.T. and Khazaei, A. 2022. Reaction of forage sorghum lines and hybrids to target leaf spot. *Cereal Research*, 12(3), pp. 315-331.

تحقیقات غلات
دوره دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱ (۳۳۱-۳۱۵)
doi: 10.22124/CR.2023.24093.1761

مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

ارزیابی واکنش لاین‌ها و هیبریدهای سورگوم علوفه‌ای به بیماری لکه برگی

وحید رهجو[1*]، محمد تقی فیض‌بخش[2] و عظیم خزائی[3]

۱- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (* نویسنده مسئول: v.rahjoo@areeo.ac.ir)
۲- دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده جامع

مقدمه: بیماری لکه برگی سورگوم (Target leaf spot) که عامل آن گونه قارچی *Bipolaris sorghicola* است، یکی از بیماری‌های برگی مهم در سورگوم به‌شمار می‌رود و چنانچه قبل از گلدهی ایجاد شود، می‌تواند منجر به خسارت و کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد دانه شود. این بیماری در ایران نیز دارای اهمیت زیادی است و معمولاً در اغلب مناطق مرطوب کشور که گیاه سورگوم کشت می‌شود، وجود دارد. با توجه به اینکه تحقیقات انجام شده در کشور روی عوامل بیماری‌زای لکه برگی در سورگوم و به‌ویژه در زمینه مقاومت ارقام سورگوم به عوامل لکه برگی بسیار اندک است،از این‌رو انجام تحقیقات در این زمینه ضروری به‌نظر می‌رسد. بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم به بیماری لکه برگی انجام شد. از ژنوتیپ‌های مقاوم شناسایی شده در این تحقیق می‌توان جهت انتقال صفات مطلوب به گیاه میزبان در برنامه‌های به‌نژادی آینده استفاده کرد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم علوفه‌ای به بیماری‌های لکه برگی، ۲۵ ژنوتیپ سورگوم شامل ۱۰ هیبرید تجاری و ۱۵ لاین امیدبخش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه کرج و گرگان مورد ارزیابی قرار گرفتند. آلودگی مصنوعی ژنوتیپ‌ها در مزرعه با مخلوطی از چند جدایه بیماری‌زای قارچ عامل بیماری طی دو مرحله انجام شد. مرحله اول، با روش تزریق سوسپانسیون اسپور (۳ میلی‌لیتر در هر حلقه) با استفاده از سرنگ در مرحله سه تا چهار برگی، و مرحله دوم، با روش بازوکا با قرار دادن ۳-۲ دانه سورگوم آغشته به قارچ در مرحله شش تا هشت برگی، انجام شد. جهت ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها و پیشرفت بیماری، صفاتی مانند درصد بوته‌های آلوده (DI%) و شدت بیماری روی هر گیاه (DS%) دو هفته پس از آخرین مایه‌زنی یادداشت‌برداری شد. علاوه بر آزمایش مزرعه‌ای، واکنش ژنوتیپ‌ها به بیماری در یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌های تحقیق: نتایج این آزمایش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های سورگوم مورد مطالعه از نظر مقاومت یا حساسیت به بیماری وجود داشت. بررسی شدت بیماری ژنوتیپ‌ها نشان داد که شدت بیماری لاین‌ها و هیبریدهای مورد آزمایش در منطقه کرج از ۰/۷ تا ۵۱/۷ درصد و در منطقه گرگان از ۱/۷ و ۶۶/۳ درصد متغییر بود. هیبرید شماره ۸ (FGCS110) با شدت بیماری ۰/۷ و ۱/۷ درصد به‌ترتیب در منطقه کرج و گرگان، کم‌ترین میزان شدت بیماری را نشان داد و به‌عنوان مقاوم‌ترین ژنوتیپ در هر دو منطقه شناخته شد و در مقابل، لاین شماره ۲ (FGS109) با شدت بیماری ۵۱/۷ و ۶۶/۳

درصد به‌ترتیب در منطقه کرج و گرگان، حساس‌ترین ژنوتیپ به بیماری بود. علاوه بر این، بین مناطق مورد مطالعه نیز تفاوت آماری معنی‌داری از نظر شدت بیماری کلیه ژنوتیپ‌ها مشاهده شد، به‌طوری که شدت بیماری ثبت شده در منطقه گرگان نسبت به کرج بیش‌تر بود. همچنین، همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = + 0.74^{**}$) بین شدت بیماری و درصد آلودگی ارزیابی شده در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم در دو منطقه مورد مطالعه وجود داشت. نتایج آزمون گلخانه‌ای نیز نتایج آزمون مزرعه‌ای را تایید کرد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم و نیمه‌مقاوم به بیماری لکه برگی در بین مواد ژنتیکی مورد مطالعه شد که می‌توان از آنها در برنامه‌های به‌نژادی آینده استفاده کرد. نتایج به‌دست آمده از منطقه کرج نشان داد که ژنوتیپ شماره ۸ (هیبرید خارجی FGCS110) واکنش بسیار مقاوم، لاین شماره ۱۳ و هیبریدهای خارجی شماره ۱، ۶، ۷ و ۱۰ واکنش مقاوم و تعداد ۱۱ لاین به‌همراه یک هیبرید خارجی نیز واکنش نیمه‌مقاوم به بیماری را نشان دادند. در مقابل در منطقه گرگان، هیبریدهای شماره ۷، ۸ و ۱۰ از گروه هیبریدهای خارجی، واکنش مقاوم و هفت لاین و پنج هیبرید خارجی نیز واکنش نیمه‌مقاوم به بیماری داشتند و در هیچ‌یک از لاین‌های مورد مطالعه در این منطقه واکنش مقاومت مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: حساسیت، ژنوتیپ، شدت بیماری، مقاومت، *Bipolaris sorghicola*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

نحوه استناد به این مقاله:

رهجو، وحید، فیض‌بخش، محمدتقی و خزائی، عظیم. ۱۴۰۱. ارزیابی واکنش لاین‌ها و هیبریدهای سورگوم علوفه‌ای به بیماری لکه برگی. *تحقیقات غلات*، ۱۲(۳)، ۳۳۱-۳۱۵.

مقدمه

گیاه سورگوم *Sorghum bicolor* (L.) Moench گیاهی از خانواده غلات است و از نظر اهمیت در بین غلات بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم دنیا قرار دارد (Khazaei *et al*., 2019). سورگوم گیاه بومی قاره آفریقا و جنوب آسیاست و از زمان‌های قدیم در ایران وجود داشته است. ارزش غذایی دانه سورگوم جهت تغذیه دام و طیور تقریباً معادل دانه ذرت است و می‌تواند در جیره غذایی طیور جایگزین شود. موارد مصرف دانه سورگوم به‌موازات مصارف ذرت و جو است و از آن به‌عنوان غذای انسان و تهیه خوراک برای دام و طیور و همچنین در صنایع نشاسته و الکل‌سازی استفاده می‌شود. سورگوم با شرایط آب و هوایی ایران به‌ویژه مناطق گرم و خشک و معتدل آن سازگاری خوبی دارد (Fouman 2011; Khazaei *et al*., 2019; Baghdadi and Golzardi, 2022).

یکی از عوامل محدود کننده رشد و تولید محصول سورگوم، بیماری‌های مختلف از جمله بیماری‌های برگی هستند. بیماری لکه برگی سورگوم (Target leaf spot) یکی از بیماری‌های برگی مهم در سورگوم در دنیا به‌شمار می‌رود (Frederiksen and Odvody, 2000)، و گونه *Bipolaris sorghicola* (Lefebvre and Sherwin) Alcorn به‌عنوان مهم‌ترین عامل این بیماری در سورگوم مطرح است. این بیماری در ایالت متحده امریکا، سودان، فلسطین اشغالی، هند، قبرس، فیلیپین و تایوان گسترش دارد (Frederiksen, 1986). در آرژانتین بیماری لکه برگی ناشی از *B. sorghicola* روی سورگوم در سال ۱۹۹۹ گزارش شد (Acciaresi and Monaco, 1999). بیماری بلایت برگی که یکی از بیماری‌های مخرب سورگوم به‌شمار می رود، وقتی قبل از گلدهی حادث شود، می‌تواند منجر به خسارت و کاهش بیش از ۵۰ درصدی عملکرد دانه شود (Tangonan and Dalmacio, 1992; Sharma *et al.,* 2012). این گونه در ایران از روی برنج، سورگوم و قیاق (*Sorghum haelpense*) گزارش شده است (Ershad 2009; Abbasi and Aliabadi, 2009; Ahmadpour *et al.,* 2011). این گونه پراکنش وسیعی در سطح کشور دارد (Karami *et al.*, 2020). معمولاً در اغلب مناطق مرطوب کشور که گیاه سورگوم کشت می‌شود، این بیمارگر نیز وجود دارد، با این‌حال تا کنون مطالعات کمی روی این گونه انجام گرفته است.

علامت اولیه بیماری به صورت لکه‌های قرمز متمایل به قهوه‌ای است که بعداً این لکه‌ها به صورت رگه‌ای در می‌آیند (Ellis, 1971). لکه‌های ایجاد شده توسط این گونه به اشکال مختلف نقطه‌ای تا کشیده و به رنگ قرمز تا ارغوانی و گاهی قهوه‌ای نیز دیده می‌شوند. این لکه‌ها می‌توانند گسترش یابند و موجب مرگ بافت‌های آلوده شوند. لکه‌ها اغلب بین رگبرگ‌ها محدود می‌شوند و در امتداد آنها گسترش می‌یابند (Sivanesan, 1987).

استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم به بیماری لکه برگی سورگوم موثرترین روش کنترل بیماری به‌شمار می‌رود (Mohan *et al.*, 2010; Kawahigashi *et al.*, 2011b). دالماسیو (Dalmacio, 1980) قارچ *Bipolaris* را روی سورگوم مطالعه کرد. او و همکاران در سال ۱۹۸۱ نیز منابع مقاومت در سورگوم به بیماری‌های مهم را مورد بررسی قرار دادند (Dalmacio *et al.,* 1981). آنها توانستند ۱۹۸ لاین مقاوم به بیماری لکه برگی را از بین ۲۴۸۴ لاین مورد مطالعه شناسایی کنند. مقاومت به بیماری لکه برگی در تحقیق آنها به صورت واکنش فوق حساسیت مشاهده شد. نتایج مطالعات تسوکیبوشی و همکاران (Tsukiboshi *et al*., 1990) نیز ثابت کرد که مقاومت سورگوم به بیماری لکه برگی به‌وسیله یک تک ژن مغلوب *ds1* کنترل می‌شود. همچنین کاواهیگاشی و همکاران (Kawahigashi *et al*., 2011a) طی یک تحقیق مولکولی نشان دادند که حذف ناحیه پروموتور ژن *ds1* در رقم مقاوم SIL-05 موجب کاهش بیان ژن شد. نتایج کلی نشان داد که فقدان عملکرد یا توقف ژن *ds1* پروتئین کیناز منجر به مقاومت به بیماری لکه برگی در سورگوم می‌شود. پژوهشگران دانشگاه شن‌یانگ چین نیز با آزمایش بررسی مقاومت به بیماری در ۶۲۰ اکسشن سورگوم، تفاوت معنی‌داری بین آنها از نظر مقاومت به بیماری یافتند و تعداد ۲۶ اکسشن را به‌عنوان منابع مقاومت به بیماری لکه برگی شناسایی کردند (Xu *et al.*, 2000). زومو و گورلی (Zummo and Gourley, 1987) وقوع بیماری لکه برگی سورگوم ناشی از عامل قارچی *B. soghicola* را در مزارع آزمایشی سورگوم USDA-ARS در ایالت می سی سی پی امریکا طی تابستان ۱۹۸۶ گزارش کردند. آنها در یک آزمایش گلخانه‌ای، تعداد ۱۱ لاین سورگوم که در مزرعه علایم بیماری را نشان داده بودند، در کنار تنها لاینی که عاری از علائم بیماری بود، به‌طور مصنوعی با اسپورپاشی سوسپانسیون اسپور قارچ جدا شده

از مزرعه (1000 Spores/ml) آلوده کردند. گیاهان آلوده در رطوبت ۱۰۰ درصد برای مدت ۱۲ ساعت نگهداری و سپس به گلخانه منتقل و پس از پنج روز ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که تمامی لاین‌هایی که در مزرعه علائم بیماری را داشتند، در آزمایش گلخانه‌ای نیز به‌طور واضح علایم را نشان دادند، در حالی‌که تنها لاینی که در مزرعه عاری از علائم بیماری بود، در گلخانه نیز علائمی نشان نداد. کاتوا (Katewa, 2005) نیز به‌منظور دستیابی به منابع مقاومت به بیماری لکه برگی، تعداد ۲۴۳ اکسشن سورگوم را به‌همراه ۲۲ هیبرید پیشرفته، ۹ رقم و ۱۴ هیبرید سورگوم در یک آزمایش مزرعه‌ای تحت آلودگی مصنوعی با عامل بیماری قرار داد. نتایج حاکی از آن بود که همه هیبریدها و ارقام و نیز ۱۲۵ اکسشن از مجموع ژرم‌پلاسم تحت بررسی واکنش مقاومت به عامل بیماری نشان دادند.

شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2012) نیز مقاومت ۲۴۲ ژنوتیپ سورگوم را به بیماری‌های برگی در آندرا پرادش هندوستان مورد ارزیابی قرار دادند. آنها مقاومت گیاهان نسبت به بیماری‌های آنتراکنوز، سوختگی برگی و زنگ سورگوم را تحت شرایط آلودگی مصنوعی طی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ مورد مطالعه قرار دادند. مایه‌زنی گیاهان برای ارزیابی مقاومت به آنتراکنوز و بلایت برگی از طریق قرار دادن دانه‌های سورگوم آغشته به سوسپانسیون اسپور قارچ در قیف گیاهان سی روز پس از ظهور گیاهچه، انجام و ارزیابی مقاومت در مرحله خمیری شدن دانه با مقیاس ۱ تا ۹ (Thakur *et al.*, 2007) صورت گرفت. در مجموع ۱۳ ژنوتیپ نسبت به بیماری آنتراکنوز، ۲۷ ژنوتیپ نسبت به سوختگی برگی (با نمره ۳ یا کم‌تر در مقیاس نمره‌دهی ۱ تا ۹) و شش ژنوتیپ نیز هم در آزمایش مزرعه‌ای و هم در آزمایش گلخانه‌ای به بیماری زنگ مقاوم بودند. علاوه بر این، سه ژنوتیپ نسبت به هر سه بیماری مقاوم شناخته شدند که برای برنامه‌های اصلاح مقاومت به بیماری در نظر گرفته شدند.

در ایران به‌دلیل اینکه کشت سورگوم به تازگی افزایش یافته و مورد توجه قرار گرفته و در گذشته چندان توجهی به آن نشده است، از این‌رو گزارش‌های قابل توجهی در مورد بیماری‌های سورگوم در دسترس نیست. در این رابطه فقط می‌توان به تحقیق رحیمیان (Rahimian, 1994) در مورد شناسایی عامل بیماری بلایت باکتریایی نواری سورگوم (*Xantomonas campestris* pv. *holcicola*) در منطقه کرمان و تحقیق مهریان و رهجو (Mehrian and Rahjoo, 2004) در زمینه شناسایی عوامل لکه برگی سورگوم که منجر به جداسازی و شناسایی قارچ‌هایی مانند *Bipolaris sorgicola*، *Cercospora sorghi*، *Excerohilum turcicum* و *Curvularia verrucalosus* شد، اشاره کرد. مهریان و رهجو (Mehrian and Rahjoo, 2004) با به‌کارگیری سوسپانسیون اسپور عامل غالب بیماری‌های برگی (*Bipolaris sorghicola*) روی تعدادی از ژنوتیپ‌های سورگوم در مزرعه و گلخانه، میزان مقاومت آنها را ارزیابی کردند و نشان دادند که لاین KGS8 حساسیت بیش‌تری به بیماری لکه برگی داشت و مقاوم‌ترین آنها لاین‌های KGS1، KGS2 و KGS10 بودند.

از آنجا که گزارش‌های بسیار کمی در زمینه عوامل بیماری‌زای لکه برگی در سورگوم و به‌ویژه در ارتباط با مقاومت ارقام سورگوم به عوامل لکه برگی در کشور در دسترس است، از این‌رو انجام تحقیقات در این راستا ضروری به‌نظر می‌رسد. بر این اساس تحقیق حاضر اجرا شد که اهداف آن شامل ۱- ارزیابی تعدادی از هیبریدهای خارجی و لاین‌های امیدبخش سورگوم از نظر واکنش به قارچ عامل بیماری، و ۲- شناسایی لاین‌های مقاوم و بهره‌گیری از آنها در برنامه‌های به‌نژادی آینده جهت انتقال صفات مناسب و مطلوب به گیاه میزبان بود.

مواد و روش‌ها

کشت ژنوتیپ‌های مختلف

مواد گیاهی این تحقیق، ۲۵ ژنوتیپ مختلف سورگوم علوفه‌ای شامل ۱۰ هیبرید سورگوم علوفه‌ای وارداتی (ژنوتیپ‌های ۱ تا ۱۰ در جدول ۳ که مراحل سازگاری را در داخل کشور طی می‌کنند) و ۱۵ لاین امیدبخش سورگوم علوفه‌ای (ژنوتیپ‌های ۱۱ تا ۲۵ در جدول ۳، این ژنوتیپ‌ها توسط به‌نژادگران طی مراحل اصلاحی انتخاب شده و دارای ویژگی‌های مناسبی از نظر زراعی هستند)، بود که به‌منظور ارزیابی واکنش آنها به بیماری لکه برگی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو منطقه کرج و گرگان مورد مطالعه قرار گرفتند. با توجه به اینکه گزارش‌های چندانی در زمینه مقاومت یا حساسیت ژنوتیپ‌های سورگوم به این بیماری در کشور وجود ندارد، از این‌رو بر اساس اطلاعات و مشاهدات قبلی نویسندگان این مقاله، لاین‌های KFS18 و KFS11 به‌ترتیب به‌عنوان

شاهدهای حساس و نسبتاً مقاوم به بیماری لکه برگی در نظر گرفته شدند. کاشت بذر در هر دو منطقه کرج و گرگان مطابق با معیارهای استاندارد و تعیین شده توسط بخش تحقیقات ذرت و گیاهان علوفه‌ای در اواسط خردادماه پس از آماده‌سازی زمین انجام شد. بر این اساس ارقام هیبرید و لاین‌های سورگوم در سه تکرار در خطوط کاشتی به‌طول سه متر با فاصله ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متر و به صورت سری در هر خط کشت شدند. عملیات تنک در مرحله ۶-۴ برگی به گونه‌ای انجام شد که فاصله بوته‌ها از یکدیگر ۱۰ سانتی‌متر باشد. کلیه عملیات زراعی در طول فصل رشد بر اساس دستورالعمل‌های موجود انجام شد و یادداشت برداری‌های لازم صورت گرفت.

خالص‌سازی و آماده‌سازی جدایه‌های قارچ عامل بیماری

در این آزمایش، از پنج جدایه قارچ *Bipolaris sorghicola* که در آزمایش‌های قبلی بر اساس کلیدهای معتبری مانند کلید شناسایی قارچ‌های ناقص (Barnett and Hunter, 1972) و کلیدهای تخصصی در خصوص قارچ‌های *Bipolaris* spp. نظیر الیس (Ellis 1971) و سیوانسان (Sivanesan, 1987)، شناسایی شده و دارای قدرت بیماری‌زایی بالایی بودند، استفاده شد.

به‌منظور خالص‌سازی مجدد جدایه‌های مورد نظر، از روش تک‌اسپور یا نوک ریسه استفاده شد، به این ترتیب که ابتدا سوسپانسیون رقیقی از کنیدی‌ها تهیه و به‌کمک یک سوزن لوپ استریل روی محیط کشت آب- آگار دو درصد در سه تکرار خط‌کشی صورت گرفت. پس از حدود ۱۲ ساعت، تک‌کنیدی‌های جوانه‌زده یا نوک ریسه‌های منفرد در محیط آب- آگار پس از مشاهده با میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ده برابر، انتخاب و به مرکز محیط کشت PDA منتقل شدند. تشتک‌های پتری حاوی تک اسپورهای منتقل شده به یک انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس منتقل و پس از ۱۰- ۷ روز، پرگنه خالص آنها تهیه شد. برای اسپورزایی قارچ از محیط کشت TWA با اضافه کردن کاه و کلش گندم استفاده شد. برای این منظور، تکه‌ای از میسلیوم خالص قارچ عامل بیماری کشت شده در محیط PDA، در نزدیکی تکه‌های کاه و کلش استریل شده روی محیط TWA قرار گرفت. قارچ کشت شده در محیط TWA، به‌مدت دو هفته درون انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس با ۱۲ ساعت تاریکی و ۱۲ ساعت نور سفید و نور نزدیک به ماورابنفش (NUV) قرار داده شدند.

تهیه زادمایه (Inoculum)

به‌منظور تهیه زادمایه قارچ *Bipolaris sorghicola* برای انجام آزمون مقاومت از دو روش زیر استفاده شد:

۱- کشت روی دانه‌های سورگوم آلوده:

در این روش، در چندین ارلن مایر دو لیتری حدود ۳۰۰-۲۵۰ گرم بذر سورگوم ریخته و بعد از ۲۴ ساعت خیس کردن و شستن، در دو روز متوالی اتوکلاو شدند (همانند روش تهیه زادمایه در تست بیماری‌زایی). بعد از اتوکلاو شدن ارلن‌ها و خنک شدن آنها، با مخلوطی از پنج جدایه خالص مهاجم مایه‌زنی شدند. طی روزهای اول بعد از مایه‌زنی، ارلن‌ها چندین بار به‌شدت تکان داده شدند تا جدایه‌های مختلف به‌طور یکنواخت درون ارلن پراکنده شوند. پس از حدود ۲۰ الی ۲۵ روز که انبوهی از اسپور روی سورگوم تولید شد، از مخلوط فوق برای تهیه سوسپانسیون اسپور استفاده شد.

۲- کشت روی محیط TWA:

برای تهیه زادمایه قارچ، جدایه‌های مورد ارزیابی روی محیط TWA همراه با کاه و کلش کشت شده و به‌مدت دو هفته داخل ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در زیر نورNUV قرار گرفتند. سوسپانسیون اسپور برای هر جدایه به‌طور جداگانه تهیه شد. برای تهیه سوسپانسیون اسپور، روی تشتک‌های پتری حاوی اسپور قارچ، آب مقطر استریل اضافه، از پارچه ململ گذرانده شده و به درون ظروف یک‌بار مصرف استریل ریخته شدند و سپس با استفاده از لام گلبول‌شمار (Hemocytometer) سوسپانسیون اسپوری با غلظت ۳×۱۰^{۴} اسپور در میلی لیتر تهیه شد.

مایه‌زنی لاین‌ها و هیبریدها در گلخانه

آزمایش گلخانه‌ای برای ارزیابی واکنش ۲۵ هیبرید و لاین سورگوم علوفه‌ای به بیماری لکه برگی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای کشت در گلخانه از گلدان‌های متوسط ده کیلویی استفاده و پس از پر کردن گلدان‌ها با خاک استریل مناسب شامل پیت ماس، خاک باغچه و ماسه بادی هر یک به نسبت یک‌سوم، در هر گلدان سه عدد بذر کشت و بلافاصله آبیاری شدند. سپس گلدان‌ها تحت شرایط کنترل شده در دمای ۲۵ درجه

سلسیوس نگهداری و وقتی گیاهچه‌ها به مرحله ۴-۳ برگی رسیدند (حدود ۲۱ روزه)، مایه‌زنی ژنوتیپ‌ها با جدایه‌های قارچ *B. sorghicola* انجام و ۵-۳ میلی‌لیتر سوسپانسیون اسپور قارچ با غلظت ۱×۱۰^{۵} اسپور در میلی‌لیتر روی برگ‌ها اسپری شد (شکل ۱- a). جهت قرارگیری بهتر اسپورها روی برگ‌ها، دو قطره توئین۲۰ (Tween20) به هر ۱۰۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون اسپور اضافه شد. توئین سبب کاهش کشش سطحی و پخش بهتر سوسپانسیون اسپور روی برگ‌ها می‌شود (Lamari and Bernier, 1989). برای حفظ رطوبت و ایجاد شرایط لازم برای بروز بهتر بیماری، روی گلدان‌ها به‌مدت ۷۲-۴۸ ساعت با پلاستیک پوشانده و کف گلخانه به‌طور مرتب آب‌پاشی شد. پس از گذشت ۱۰ تا ۱۴ روز، گیاهچه‌ها از نظر ایجاد علایم بیماری روی برگ‌ها ارزیابی و شدت بیماری ایجاد شده روی گیاهچه‌ها بر اساس درصد آلودگی برگ‌ها برای هر واحد آزمایشی با استفاده از سیستم امتیازدهی ۹-۱ (Thakur *et al*., 2007) ثبت شد (جدول ۱).

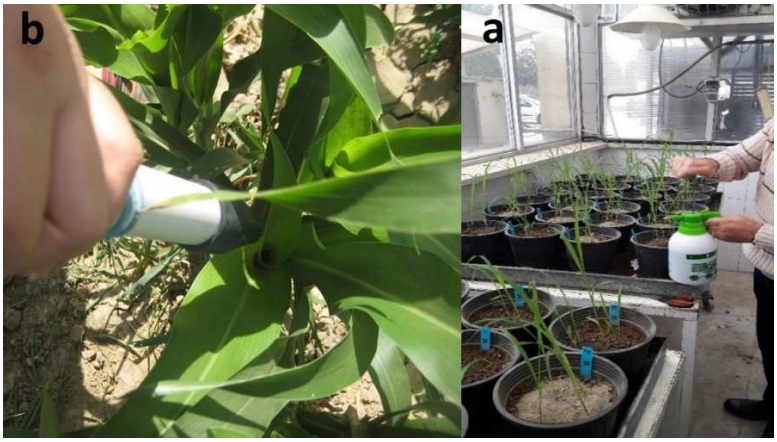
مایه‌زنی لاین‌ها و هیبریدها در مزرعه

مایه‌زنی ژنوتیپ‌ها در مزرعه در دو مرحله از رشد گیاه و در هر مرحله با روشی متفاوت صورت گرفت. در روش تزریق زادمایه، سوسپانسیون اسپور تهیه شده در مرحله ۴-۳ برگی با سرنگ به قیف گیاه تزریق شد. در روش بازوکا (Bazooka)، سورگوم‌های آلوده به اسپور مخلوط جدایه‌های برتر تهیه و دانه‌های آلوده آنها خشک شد و سپس با دستگاه بازوکا (شکل b-۱) به‌طور یکنواخت در قیف هر گیاه در مرحله ۸-۶ برگی پخش شد (Zhu *et al*., 2023).

جدول ۱- نمره‌دهی ژنوتیپ‌های سورگوم در واکنش به بیماری لکه برگی (Thakur *et al*., 2007)

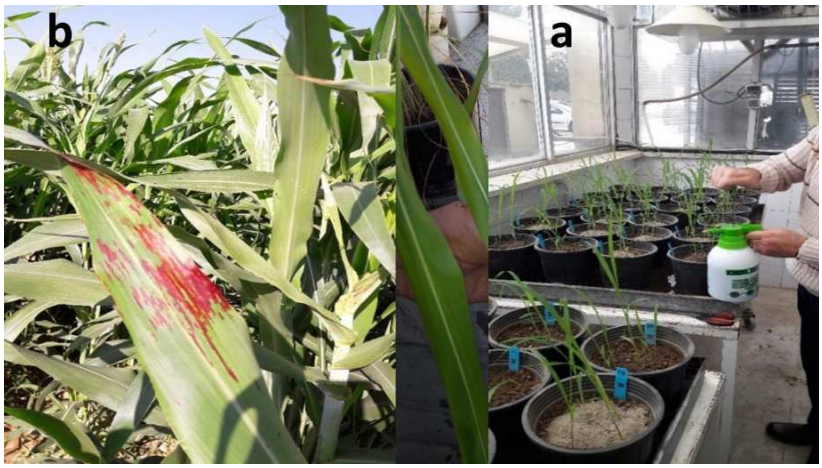
Table 1. Scoring of sorghum genotypes in response to target leaf spot (Thakur *et al*., 2007)

Severity rating	Symptoms and lesion types	Disease reaction class
1	0 to <1% leaf area with mild yellow flecks	Highly resistant (HR)
2	1-5% leaf area covered with hypersensitive small lesions	Resistant (R)
3	6-10% leaf area covered with hypersensitive small lesions	Resistant (R)
4	11-20% leaf area covered with small necrotic lesions	Moderately resistant (MR)
5	21-30% leaf area covered with small necrotic coalescing lesions	Moderately resistant (MR)
6	31-40% leaf area covered with large coalescing necrotic lesions	Susceptible (S)
7	41-50% leaf area covered with large coalescing necrotic lesions	Susceptible (S)
8	51-75% leaf area covered with large coalescing necrotic lesions	Highly susceptible (HS)
9	76-100% leaf area covered with large coalescing necrotic lesions	Highly susceptible (HS)



شکل ۱- مایه‌زنی بوته‌های سورگوم با سوسپانسیون اسپور جدایه‌های مختلف قارچ *B. sorghicola* در گلخانه (a)، و آلودگی مصنوعی بوته‌های سورگوم با دانه‌های سورگوم آغشته به سوسپانسیون اسپور قارچ به روش بازوکا در مزرعه (b)

Figure 1. Leaf inoculation of sorghum plants with spore suspension of different isolates of *B. sorghicola* in the greenhouse (a) and artificial inoculation of sorghum plants with sorghum seeds contaminated with fungal spore suspension by Bazooka method in the field (b)



شکل ۲- علایم بیماری لکه برگی ناشی از مایه‌زنی با سوسپانسیون اسپور جدایه‌های قارچ *B. sorghicola* روی بوته‌های سورگوم در شرایط گلخانه (a، سمت راست) در مقایسه با شاهد بدون مایه‌زنی (a، سمت چپ)، و علایم بیماری روی بوته‌های سورگوم دو هفته پس از مایه‌زنی به روش بازوکا در مزرعه (b)

Figure 2. Leaf spot symptoms caused by inoculation with spore suspension of *B. sorghicola* on Sorghum plants under greenhouse conditions (a, right side) compared to the control without inoculation (a, left side) and disease symptoms on sorghum plants two weeks after inoculation using Bazooka method in the field (b)

ارزیابی واکنش لاین‌ها و هیبریدها

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در مزرعه دو هفته پس از آخرین مایه‌زنی بر حسب پیشرفت آلودگی روی ده بوته تصادفی از هر کرت انجام و درصد بوته‌های آلوده (Disease Incidence) و شدت بیماری (Disease Severity) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری درصد بوته‌های آلوده (DI)، برگ‌های هر بوته به صورت جداگانه بررسی و تعداد بوته‌های آلوده به لکه برگی، شمارش و نسبت آن به تعداد کل بوته‌های کرت بر حسب درصد محاسبه شد (رابطه ۱):

$$DI = \frac{N_i}{N} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، DI درصد آلودگی، N_i تعداد گیاهان آلوده و N تعداد کل گیاهان است.

شدت بیماری نیز بر حسب درصد نواحی آلوده شده برگ‌های هر گیاه بین صفر تا صد ارزیابی می‌شود. برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها، علاوه بر ثبت میزان شدت بیماری روی برگ‌های هر ژنوتیپ (عمدتاً چهار برگ بالایی) به‌صورت درصد، از سیستم امتیازدهی ۹-۱ (Thakur *et al.*, 2007) نیز با اندکی تغییرات استفاده شد (جدول ۱).

علاوه بر اندازه‌گیری شاخص‌های مربوط به بیماری، عملکرد علوفه تر و خشک نیز پس از هر چین برای یک متر از دو خط وسط هر کرت اندازه‌گیری و داده‌ها برحسب تن در هکتار ثبت شدند.

تجزیه‌های آماری

پس از امتیازدهی و ارزیابی دو شاخص درصد آلودگی و شدت بیماری در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و تبدیل داده‌ها با روش آرک سینوس، داده‌ها از نظر توزیع نرمال و یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی بررسی و سپس تجزیه واریانس ساده و مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و همچنین محاسبه همبستگی بین صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج

۱- ارزیابی مقاومت لاین‌ها و هیبریدهای سورگوم به بیماری لکه برگی در شرایط گلخانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس شدت بیماری لکه برگی در آزمایش گلخانه‌ای در جدول ۲ ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تفاوت بین ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم از نظر شدت بیماری بسیار معنی‌دار بود.

مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم از نظر شدت بیماری تحت شرایط گلخانه در جدول ۳ ارایه شده است. همان‌طور که از این نتایج استنباط می‌شود، بین ژنوتیپ‌ها از نظر شدت بیماری (DS%) اختلاف بسیار معنی‌داری مشاهده شد و ژنوتیپ‌ها بر اساس آزمون

LSD در چند گروه مختلف آماری قرار گرفتند. شدت بیماری ایجاد شده روی ژنوتیپ‌ها بین صفر تا ۳۵ درصد متغیر بود (شکل ۳). در این آزمایش، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۱، ۲ و ۱۲ به‌همراه لاین ۲۴ (شاهد) در گروه حساس قرار گرفتند و ژنوتیپ‌های شماره ۵ و ۱۱ (گروه a) با ثبت شدت بیماری ۳۵ درصد، حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در مقابل، ژنوتیپ‌های شماره ۸، ۷، ۱۳ و ۲۲ بدون نشان هیچ‌گونه علایم بیماری، به‌عنوان ژنوتیپ‌های بسیار مقاوم در این آزمایش شناخته شدند.

جدول ۲- تجزیه واریانس شدت بیماری لکه برگی در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم در شرایط گلخانه‌ای

Table 2. Analysis of variance for disease severity of target leaf spot in different sorghum genotypes in greenhouse conditions

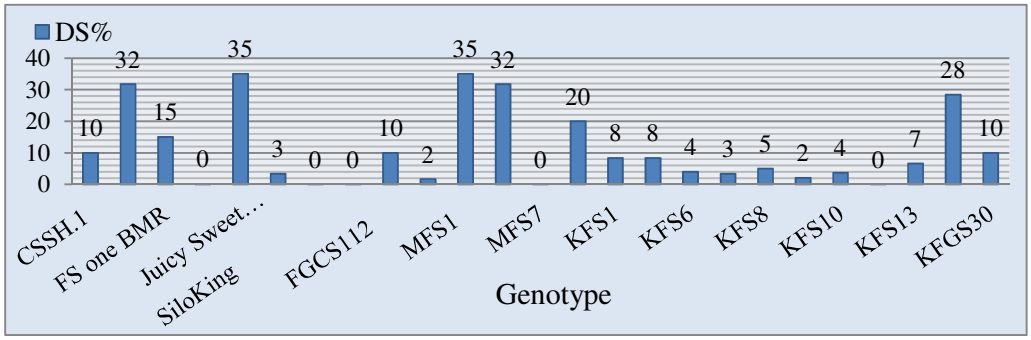
Source of variation	df	MS
Genotype	24	418.15**
Experimental error	50	22.6
Coefficient of variation (CV %)	-	10.32

** Significant at 1% probability level.

جدول ۳- مقایسه میانگین شدت بیماری و واکنش ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم نسبت به قارچ *B. sorghicola* عامل بیماری لکه برگی در آزمایش گلخانه‌ای

Table 3. Comparison of means of disease severity and reaction of different sorghum genotypes to *B. sorghicola* in greenhouse conditions

No.	Genotype	Disease severity (%)	Score (1-9)	Reaction
1	CSSH.1	10.0 de	3	Resistant
2	FGS109	31.7 a	6	Susceptible
3	FS one BMR	15.0 cd	4	Moderately resistant
4	BMR SSH.1	1.0 f	2	Resistant
5	BMR SSH.2	35.0 a	6	Susceptible
6	Titan	3.4 ef	2	Resistant
7	SiloKing	0.0 f	1	Highly resistant
8	FGCS110	0.0 f	1	Highly resistant
9	FGCS112	11.0 de	4	Moderately resistant
10	Saccarose BMR	1.7 ef	2	Resistant
11	MFS1	35.0 a	6	Susceptible
12	MFS2	31.7 a	6	Susceptible
13	MFS7	0.0 f	1	Highly resistant
14	MFS8	20.0 bc	4	Moderately resistant
15	KFS1	8.3 def	3	Resistant
16	KFS2	8.3 def	3	Resistant
17	KFS6	4.0 ef	2	Resistant
18	KFS7	3.4 ef	2	Resistant
19	KFS8	5.0 ef	2	Resistant
20	KFS9	2.0 ef	2	Resistant
21	KFS10	3.7 ef	2	Resistant
22	KFS11	0.0 f	1	Highly resistant
23	KFS13	6.7 def	3	Resistant
24	KFS18	31.3 ab	5	Susceptible
25	KFGS30	11.0 de	4	Moderately resistant



شکل ۳- مقایسه شدت بیماری لکه برگی در ژنوتیپ‌های مختف سورگوم علوفه‌ای تحت شرایط گلخانه‌ای

Figure 3. Comparison of disease severity (%)of target leaf spot in different forage sorghum genotypes under greenhouse conditions

۲- ارزیابی مقاومت لاین‌ها و هیبریدهای سورگوم به بیماری لکه برگی در شرایط مزرعه

الف- مجموع دو منطقه

به‌منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های برتر در واکنش به بیماری لکه برگی سورگوم، میانگین داده‌های دو منطقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به تجزیه واریانس مرکب آزمایش ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم در دو منطقه کرج و گرگان برای صفات مختلف مانند شدت بیماری، درصد آلودگی، عملکرد علوفه تر و عملکرد علوفه خشک تحت تاثیر مخلوطی از جدایه‌های مهاجم قارچ *B. sorghicola* در جدول ۴ ارایه شده است. همان‌طور که نتایج این جدول نشان می‌دهد، برهمکنش بین مکان و ژنوتیپ برای همه صفات مورد مطالعه بسیار معنی‌دار بود، به این معنی که ژنوتیپ‌های مختلف در مکان‌های مختلف اثرات متفاوتی را در مورد صفات اندازه‌گیری شده نشان دادند. با توجه به وجود تفاوت معنی‌دار بین مکان‌های آزمایش، جهت انجام مقایسه صحیح بین ژنوتیپ‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها در هر مکان به‌طور جداگانه انجام و در جدول‌های ۵ الی ۷ ارایه شد.

ب- منطقه کرج

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه شامل عملکرد علوفه تر و خشک، شدت بیماری و درصد آلودگی به بیماری لکه برگی در ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم تحت تاثیر مخلوطی از جدایه‌های *B. sorghicola* در منطقه کرج در جدول ۵ ارایه شده است. نتایج نشان داد که تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم در منطقه کرجاز نظر تمامی صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش وجود داشت. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های سورگوم در منطقه کرج (جدول ۷) نیز نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر شدت بیماری (DS) اختلاف آماری بسیار معنی‌داری مشاهده شد و ژنوتیپ‌ها بر اساس آزمون LSD در چند گروه مختلف آماری دشته‌بندی شدند. شدت بیماری ایجاد شده روی لاین‌ها بین ۰/۷ تا ۵۱/۷ درصد متغیر بود. در این آزمایش ژنوتیپ‌های ۱۲و ۲ به‌ترتیب با شدت بیماری ۵۱/۷ و ۴۸/۳ درصد درگروه حساس قرار گرفتند و ژنوتیپ شماره ۸ مقاوم‌ترین لاین در این منطقه شناخته شد.

با استناد به نتایج این جدول در مورد درصد آلودگی نیز می‌توان گفت که ژنوتیپ‌ها از نظر درصد آلودگی تفاوت‌های بسیار معنی‌داری داشتند و در گروه‌های آماری مختلفی دسته‌بندی شدند. در این آزمایش همانند صفت قبلی، ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۹ با ۱۰۰ درصد آلودگی بوته‌های مایه‌زنی شده، بیش‌ترین درصد آلودگی را نشان دادند و در در مقابل، ژنوتیپ شماره ۸ با ۵/۳ درصد کم‌ترین درصد آلودگی بوته‌ها را داشت. سایر ژنوتیپ‌ها نیز درصد آلودگی بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد نشان دادند.

همچنین بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد علوفه تر و خشک نیز تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. در بین ژنوتیپ‌ها، هیبرید شماره ۸ که مقاومت بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به بیماری نشان داد، بیش‌ترین عملکرد علوفه تر و خشک را نیز در بین همه ژنوتیپ‌ها تولید کرد. در مقابل، لاین ۲۴ که یک لاین حساس به بیماری بود، کم‌ترین عملکرد علوفه تر و خشک را در منطقه کرج نشان داد.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب واکنش ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم به بیماری لکه برگی در دو منطقه کرج و گرگان

Table 4. Combined analysis of variance of the response of different sorghum genotypes to target leaf spot in two regions, Karaj and Gorgan

Source of variation	df	Mean squares			
		Disease severity	Disease incidence	Fresh yield	Dry yield
Location (L)	1	907.24 **	5216.8 ns	13431.3 *	36.21 ns
Replication / (L)	4	15.76	916.18	1469.89	13.53
Genotype (G)	24	663.17 **	2739.49**	2395.44**	30.15**
G × L	24	82.42**	364.05 **	660.13**	11.24**
Error	96	28.87	174.29	333.70	4.04
CV (%)	-	11.82	10.89	11.38	12.70

ns, * and ** Not-significant, and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- تجزیه واریانس ساده واکنش ژنوتیپ‌های سورگوم به بیماری لکه برگی در منطقه کرج

Table 5. Simple analysis of variance of the response of sorghum genotypes to target leaf spot in Karaj region

Source of variation	df	Mean squares			
		Disease severity	Disease incidence	Fresh yield	Dry yield
Replication	2	27.43	323.24	29.02	25.19
Genotype	24	366.40**	1710.46**	1637.46**	15.16**
Error	48	24.26	161.80	548.94	5.51
CV (%)	-	10.88	12.20	11.72	12.74

** Significant at 1% probability level.

ج- منطقه گرگان

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه جهت ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های سورگوم علوفه‌ای به بیماری لکه برگی حاصل از مخلوط جدایه‌های *B. sorghicola* در منطقه گرگان در جدول ۶ ارایه شده است. با استناد نتایج تجزیه واریانس می‌توان نتیجه گرفت که بین ژنوتیپ‌های مختلف سورگوم در منطقه گرگان از لحاظ کلیه صفات یعنی شدت بیماری و درصد آلودگی بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد.

نتایج مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌های سورگوم برای صفت شدت بیماری در منطقه گرگان (جدول ۷) نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر شدت بیماری (DS) اختلاف آماری بسیار معنی‌داری مشاهده شد و ژنوتیپ‌های سورگوم در گروه‌های آماری مختلفی قرار گرفتند. شدت بیماری ایجاد شده روی ژنوتیپ‌ها بین ۱/۷ تا ۶۶/۳ درصد متغیر بود. ژنوتیپ‌های شماره ۲۴ (شاهد حساس)، ۲ و ۳ به‌ترتیب با شدت بیماری ۶۶/۳، ۶۶/۳ و ۵۶/۷ درصد، بالاترین شدت بیماری را در بین همه ژنوتیپ‌ها نشان دادند و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به بیماری لکه برگی بودند. در مقابل، کم‌ترین شدت بیماری در ژنوتیپ شماره ۸ با مقدار ۱/۷ درصد مشاهده شد و به‌عنوان مقاوم‌ترین ژنوتیپ به بیماری لکه برگی در منطقه گرگان در بین تمامی ژنوتیپ‌های مطالعه شده شناخته شد.

نتایج مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌های سورگوم برای صفت شدت بیماری در منطقه گرگان (جدول ۷) نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های سورگوم مورد مطالعه از این نظر نیز تفاوت بسیار معنی‌داری با هم داشتند و در گروه‌های آماری مختلفی دسته‌بندی شدند. بررسی درصد آلودگی ژنوتیپ‌های مختلف در این منطقه نیز نشان داد که همانند صفت قبلی، ژنوتیپ‌های ۲۴، ۲، ۳ و ۱۶ با ۱۰۰ درصد آلودگی بوته‌های مایه‌زنی شده، بیش‌ترین درصد آلودگی را نشان دادند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. ژنوتیپ شماره ۸ نیز با فقط ۵ درصد، کم‌ترین آلودگی را داشت و به‌تنهایی در یک گروه آماری قرار گرفت. سایر ژنوتیپ‌ها نیز درصد آلودگی بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد نشان دادند.

مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد علوفه تر و خشک نیز حاکی از وجود تفاوت بسیار معنی‌دار بین آنها بود. ژنوتیپ شماره ۷ بیش‌ترین و ژنوتیپ‌های شماره ۱۹ و ۲۱ نیز کم‌ترین عملکرد علوفه تر و خشک را در بین همه ژنوتیپ‌ها در منطقه گرگان تولید کردند.

جدول ۶- تجزیه واریانس ساده واکنش ژنوتیپ‌های سورگوم به بیماری لکه برگی در منطقه گرگان

Table 6. Simple analysis of variance of the response of sorghum genotypes to target leaf spot in Gorgan region

Source of variation	df	Mean squares			
		Disease severity	Disease incidence	Fresh yield	Dry yield
Replication	2	4.09	159.13	37.58	1.88
Genotype	24	379.19**	1393.08**	1418.11**	26.24**
Error	48	33.49	186.78	118.46	5.51
CV (%)	-	12.66	9.78	11.08	12.47

** Significant at 1% probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین درصد آلودگی و شدت بیماری لکه برگی بین ژنوتیپ‌های سورگوم در دو منطقه کرج و گرگان

Table 7. Comparison of means of disease incidence and disease severity leaf spot among sorghum genotypes in two regions, Karaj and Gorgan

No.	Genotype	Gorgan			Karaj		
		DI (%)	DS (%)	Reaction*	DI (%)	DS (%)	Reaction*
1	CSSH.1	53.3 de	15.0 ghi	MR	10.0 h	4.3 hi	R
2	FGS109	100 a	66.3 a	HS	96.7 ab	48.3 a	S
3	FS one BMR	100 a	56.7 a	HS	96.7 ab	36.7 bc	S
4	BMR SSH.1	76.7 abcd	25.0 defg	MR	63.3 cde	18.3 ef	MR
5	BMR SSH.2	90.0 ab	26.7 cdefg	MR	93.3 ab	31.7 cd	S
6	Titan	71.7 abcd	25.0 defg	MR	16.6 h	3.7 hi	R
7	SiloKing	20.0 fg	7.0 ij	R	23.3 gh	5.3 ghi	R
8	FGCS110	5.0 g	1.7 j	R	5.3 h	0.7 i	HR
9	FGCS112	93.3 ab	26.7 cdefg	MR	100 a	36.7 bc	S
10	Saccarose BMR	36.7 ef	10.0 hij	R	33.3 fgh	7.0 ghi	R
11	MFS1	63.3 cd	21.7 efgh	MR	33.3 fgh	15.0 fg	MR
12	MFS2	83.3 abc	26.7 cdefg	MR	100 a	51.7 a	HS
13	MFS7	53.3 de	11.7 hij	MR	23.3 gh	5.3 ghi	R
14	MFS8	96.7 ab	28.3 cdef	MR	90.0 abc	26.7 cde	MR
15	KFS1	63.3 cd	11.7 hij	MR	70.0 bcde	13.3 fgh	MR
16	KFS2	100 a	30.0 cdef	S	58.3 def	20.0 ef	MR
17	KFS6	90.0 ab	35.0 bcd	S	73.3 abcde	20.0 ef	MR
18	KFS7	93.3 ab	43.3 b	S	86.7 abcd	21.7 def	MR
19	KFS8	96.7 ab	38.3 bc	S	86.7 abcd	23.3 def	MR
20	KFS9	96.7 ab	33.0 bcde	S	80.0 abcd	20.0 ef	MR
21	KFS10	76.7 abcd	18.3 fghi	MR	90.0 abc	23.3 def	MR
22	KFS11	96.7 ab	31.7 bcde	S	83.3 abcd	18.3 ef	MR
23	KFS13	96.7 ab	33.0 bcde	S	46.7 efg	15.0 fg	MR
24	KFS18	100 a	66.3 a	HS	96.7 ab	46.7 ab	S
25	KFGS30	96.7 ab	30.0 cdef	MR	81.7 abcd	31.7 cd	S

* R, MR, S, and HS: Resistant, moderately resistant, susceptible, and highly susceptible, respectively.

بحث

بیماری لکه برگی سورگوم (Target leaf spot) یکی از بیماری‌های برگی مهم در سورگوم به‌شمار می‌رود و گونه *B. sorghicola* به‌عنوان مهم‌ترین عامل بیماری لکه برگی در سورگوم مطرح است. این گونه پراکنش وسیعی در سطح کشور دارد و معمولاً در اغلب مناطق مرطوب کشور که سورگوم کشت می‌شود، این بیمارگر نیز وجود دارد. با این‌حال، تا کنون مطالعات کمی روی این گونه انجام گرفته است. در این تحقیق، واکنش تعدادی از لاین‌های امیدبخش و ارقام وارداتی سورگوم علوفه‌ای نسبت به آلودگی مصنوعی مخلوطی از سوسپانسیون اسپور سه جدایه مهاجم این گونه قارچ در شرایط گلخانه و مزرعه در دو منطقه کرج و گرگان بررسی شد. در مجموع به‌دلیل آنکه توسعه و بروز علایم بیماری در مزارع آزمایشی هر دو منطقه مشاهده شد، از این‌رو می‌توان گفت که ایجاد آلودگی مصنوعی قابل قبول و رضایت‌بخش بود. همچنین میزان حساسیت سورگوم به بیماری لکه برگی به‌دلیل عوامل مختلف از جمله ویژگی میزبان (ژنوتیپ)، مکان رویش رقم، و صفات مرتبط با میزان بیماری متفاوت

بود. در کل اختلاف معنی‌داری بین ۲۵ ژنوتیپ سورگوم مورد بررسی در این آزمایش از نظر مقاومت به عامل بیماری لکه برگی مشاهده شد. همچنین، طیف گسترده‌ای از واکنش در مقابل عامل بیماری در بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد، به‌طوری که از منظر واکنش به بیماری، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را می‌توان در چهارگروه مقاوم، نیمه‌مقاوم، حساس و بسیار حساس گروه‌بندی کرد. از آنجا که ژنوتیپ‌های سورگوم مورد مطالعه در این آزمایش، شامل لاین و هیبرید بودند، بنابراین با بررسی جداگانه هر یک از این گروه‌ها می‌توان اطلاعات بیش‌تری به‌دست آورد. به‌طورکلی از بین ۱۵ لاین مورد استفاده در آزمایش به‌جز شاهد (لاین شماره ۲۴، KFS18) که واکنش بسیار حساس در مجموع دو منطقه نشان داد، تعداد سه لاین به‌عنوان حساس، ۱۰ لاین نیمه‌مقاوم و یک لاین (MFS7) مقاوم به بیماری بودند. در بین ۱۰ هیبرید خارجی مورد بررسی نیز طیف وسیعی از بسیار حساس تا مقاوم مشاهده شد، به‌طوری که به‌جز هیبرید شماره ۲ (FGS109) که در مجموع دو منطقه، بسیار حساس بود و حتی از لاین شاهد هم شدت بیماری بیش‌تری را نشان داد، دو هیبرید حساس، سه هیبرید نیمه‌مقاوم و چهار هیبرید مقاوم به بیماری بودند. تفاوت ژنوتیپ‌های سورگوم از نظر مقاومت به بیماری لکه برگی و واکنش متفاوت آنها نسبت به قارچ عامل بیماری پس از آلودگی مصنوعی در شرایط مزرعه توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Zummo and Gourley, 1987; Xu, 2000; Katewa, 2005; Sharma *et al.*, 2012) که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش انگشت‌شماری ژنوتیپ‌های سورگوم نسبت به بیماری لکه برگی (Mehrian and Rahjoo, 2004) نیز مطابقت نشان داد.

با توجه به اینکه اثر مکان بر شدت بیماری در این آزمایش معنی‌دار بود و به‌عبارت دیگر تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه آزمایش از نظر شدت بیماری مشاهده شد، بر این اساس مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌ها به‌طور جداگانه برای هر منطقه انجام شد (جدول ۷). در منطقه کرج، ژنوتیپ ۱۲ (MFS2) که یک لاین علوفه‌ای امیدبخش است، در واکنش به بیماری بسیار حساس (HS) شناخته شد و حتی از این نظر از لاین ۲۴ (KFS18) که به‌عنوان لاین سورگوم علوفه‌ای شاهد حساس در نظر گرفته شد، شدت بیماری بالاتری را نشان داد. همچنین هیبریدهای ۲، ۳، ۵ و ۹ همراه با لاین ۲۵ در گروه حساس، تعداد ۱۱ لاین و یک هیبرید خارجی در گروه نیمه‌مقاوم، هیبریدهای ۱، ۶، ۷ و ۱۰ همراه با لاین ۱۳ در گروه ژنوتیپ‌های مقاوم، و هیبرید خارجی شماره ۸ (FGCS110) نیز به‌تنهایی در گروه بسیار مقاوم قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در منطقه گرگان نیز نشان داد که هیبریدهای خارجی ۲ و ۳ به‌همراه لاین شماره ۲۴ (شاهد حساس به بیماری) به‌عنوان ژنوتیپ‌های بسیار حساس و لاین‌های ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند. تعداد هفت لاین و پنج هیبرید خارجی واکنش نیمه‌مقاوم و سه هیبرید خارجی ۷، ۸ و ۱۰ نیز واکنش مقاوم به بیماری داشتند. ضمناً در هیچ‌یک از لاین‌های سورگوم مورد مطالعه واکنش مقاومت در این منطقه مشاهده نشد.

نتایج این آزمایش نشان داد که از نظر شدت بروز بیماری بین مکان‌های مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، به‌عبارت دیگر میانگین شدت بیماری تمامی ژنوتیپ‌ها در دو منطقه کرج و گرگان، متفاوت و از نظر آماری بسیار معنی‌دار بود، اما از نظر صفت درصد آلودگی تفاوت معنی‌داری بین دو منطقه مشاهده نشد (جدول ۴). همچنین برهمکنش ژنوتیپ در مکان برای همه صفات بسیار بود. مقایسه واکنش ژنوتیپ‌ها به بیماری در دو منطقه نشان داد که در مجموع شدت بیماری لاین‌ها یا هیبریدها در منطقه گرگان بیش‌تر از کرج بود، به‌طوری که برخی از ژنوتیپ‌ها که در گرگان حساس شناخته شدند، در کرج واکنش نیمه‌مقاوم نشان دادند. با توجه به تفاوت وضعیت آب و هوایی این دو منطقه و به‌ویژه تفاوت آنها از نظر میزان بارش‌ها، دما و رطوبت نسبی هوا و نقش بسیار موثر آب و هوا و شرایط جوی بر بروز بیماری، این نتیجه دور از انتظار نیست. کاتوا و همکاران (Katewa *et al.*, 2006) در بررسی شناخت عوامل موثر بر همه‌گیری (Epidemiology) بیماری لکه برگی سورگوم با عامل قارچی *B. soghicola*، ضمن بررسی حساس‌ترین سن گیاه برای بروز حساسیت، همبستگی بالایی بین حداکثر رطوبت نسبی و شدت بیماری به‌دست آوردند. همچنین نتایج آزمایش ژو و همکاران (Xu, 2000) که در دانشگاه شن‌یانگ چین صورت گرفت، نشان داد که مقدار بهینه دما برای رشد میسلیومی قارچ ۳۰-۲۵ درجه سلسیوس و مناسب‌ترین pH بین ۳ تا ۶ می‌باشد که نشان می‌دهد در شرایط خاص بیماری می‌تواند با تاثیرپذیری از شرایط محیطی، رشد و گسترش بیش‌تری داشته باشد.

به‌منظور بررسی میزان ارتباط بین صفات مطالعه شده در این آزمایش، همبستگی بین صفات در مجموع دو منطقه محاسبه و نتایج آن در جدول ۸ ارایه شد. بر اساس نتایج مندرج در این جدول و مقایسه شدت بیماری و درصد آلودگی ژنوتیپ‌های مختلف می‌توان دریافت که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این دو صفت وجود دارد ($r = +0.74^{**}$)، به این معنی که ژنوتیپ‌هایی که بیش‌تر بوته‌های آن آلوده شده‌اند و علایم بیماری را با نسبت بیش‌تری نشان داده‌اند، شدت بیماری نیز در آنها بیش‌تر بوده و حساسیت بیش‌تری به بیماری داشتند. این نتایج به‌طور واضح نشان می‌دهند که با مساعد بودن شرایط توسعه بیماری اعم از ژنتیک میزبان، بیمارگر یا شرایط محیطی، شاخص‌های مختلف مرتبط با بیماری با رویه یکسانی میزان پیشرفت بیماری را نشان می‌دهند. همچنین بین درصد آلودگی و نیز بین شدت بیماری با عملکرد علوفه تر و خشک، همبستگی منفی معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۸)، به این مفهوم که ژنوتیپ‌های دارای درصد آلودگی یا شدت بیماری بیش‌تر، عملکرد علوفه کم‌تری تولید کردند، ولی از آنجا که میزان این همبستگی بالا نبود (جدول ۸)، این رویه در مورد همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به شکل یکسان عمل نکرد.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات مورد ارزیابی در لاین‌ها و هیبریدهای سورگوم علوفه‌ای در واکنش به بیماری لکه برگی

Table 8. Correlation coefficients among the measured traits in forage sorghum lines and hybrids in response to target leaf spot

Traits	Disease severity	Disease incidence	Fresh yield	Dry yield
Disease severity	1			
Disease incidence	0.74526 **	1		
Fresh yield	-0.32139 **	-0.28788 **	1	
Dry yield	-0.21882 **	-0.22661 **	0.84005 **	1

** Significant at 1% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های سورگوم نسبت به بیماری لکه برگی در دو منطقه کرج و گرگان در این آزمایش، منجر به شناسایی سه هیبرید مقاوم ۷ (SiloKing)، ۸ (FGCS110) و ۱۰ (Saccarose BMR) در هر دو منطقه شد. نتایج این تحقیق در مورد آلوده‌سازی مصنوعی ژنوتیپ‌ها نیز نشان داد که آلودگی مصنوعی می‌تواند نشان دهنده واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط آلودگی طبیعی باشد و همانند شرایط طبیعی، ارقام مقاوم به بیماری را در بین مواد ژنتیکی مورد مطالعه شناسایی کند. از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی سورگوم به‌منظور ایجاد مقاومت به بیماری لکه برگی استفاده کرد.

سپاسگزاری

این تحقیق بر اساس پروژه تحقیقاتی خاص با کد مصوب ۹۵۰۱۷۲-۰۰۹- ۰۳-۰۳-۰۴ انجام شد. بدین وسیله از حمایت‌های معاونت محترم زراعت وزارت جهاد کشاورزی و مساعدت‌های مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی سپاسگزاری می‌شود.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Abbasi, M. and Aliabadi, F. 2009. The List of Fungi Reported in Proceedings of the 12th to 18th Iranian Plant Protection Congress. Elm-o-Honar Publication, Tehran, Iran. [In Persian].

Ahmadpour, A., Donyadoost-Chelan, M., Heidarian, Z. and Javan-Nikkhah, M. 2011. New species of *Bipolaris* and *Curvularia* on grass species in Iran. *Rostaniha*, 12(1), pp. 39-49. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/BOTANY.2011.101430.

Acciaresi, H. and Monaco, C. 1999. First report of *Bipolaris sorghicola* on Jonsongrass in Argentina. *Plant Disease*, 83, 965. https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.10.965C.

Baghdadi, A. and Golzardi, F. 2022. Forage Crops. ETKA Publication, Tehran, Iran. [In Persian].

Barnett, H.L. and Hunter, B.B. 1972. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Burgess Pub. Co., Minneapolis, Minnesota. 241 p.

Dalmacio, S.C. 1980. Sorghum Diseases in Philippines. Proceedings of the International Workshop on Sorghum Diseases. December 11-15, 1978. Hyderabad, India. ICRISAT. Patancheru, Andhra Pradesh, India.

Dalmacio, S.C., Dayan, M.P. and Pascual C.B. 1981. Identification of source of resistance to some major diseases of sorghum in Philippine. *Philippine Phytopathology*, 17, pp. 38-46.

Ellis, M.B. 1971. Dematiaceous Hyphomycetes. CMI, Kew, England. 608 p.

Ershad, D. 2009. Fungi of Iran. Third Edition. Publication of Agricultural Research, Education and Extension Organization, Publication No. 10, Tehran, Iran. 531 p. [In Persian].

Frederiksen, R.A. 1986. Compendium of Sorghum Diseases. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, USA.

Frederiksen, R.A. and Odvody, G.N. 2000. Compendium of Sorghum Diseases. Second Edition. The American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, USA. 77 p.

Fouman, A. 2011. Evaluation of different forage sorghum cultivars [*Sorghum bicolor* (L.) moench] through an assessment of morphological, quantitative and qualitative yield traits. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(4), pp. 833-840. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1389.41.4.19.4.

Karami, S., Javan-Nikkhah,M., Bardi-Fotuhifar, Kh., Rahjoo, V., Ahmadpour, A. and Alidadi, A. 2020. Study on *Bipolaris* and *Curvularia* species associated with corn, sorghum and sugarcane in Iran. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 51(1), pp. 129-146. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/IJPPS.2019.273052.1006876.

Katewa, R. 2005. Studies on epidemiology and management of target leaf spot of sorghum caused by *Bipolaris sorghicola* (Lefebvre and Sherwin) Alcorn. Ph.D.Dissertation in Agriculture (Plant Pathology), College of Agriculture, Maharana Pratap University of Agriculture and Technology, Udaipur Rajasthan.

Katewa, R. Mathur, K. and Bunker, R.N. 2006. Assessment of losses in sorghum due to target leaf spot (*Bipolaris sorghicola*) at varying disease severity levels. *Indian Phytopathology*, 59(2), pp. 237-239.

Kawahigashi, H., Kasuga, S., Ando, T., Kanamori, H., Wu, J., Yonemaru, J., Sazuka T. and Matsumoto, T. 2011a. Positional cloning of *ds1*, the target leaf spot resistance gene against *Bipolaris sorghicola* in sorghum. *Theoretical and Applied Genetics*, 123(1), 131-142. https://doi.org/10.1007/s00122-011-1572-1.

Kawahigashi, H., Kasuga, S., Okuizumi, H., Kanamori, H., Ando, T. and Matsumoto, T. 2011b. Classification of genotypes of the target leaf spot-resistant gene (*ds1*) in a sorghum collection. *Crop Science*, 51(5), pp. 2095-2103. https://doi.org/10.2135/cropsci2011.03.0166.

Khazaei, A., Fouman, A., Rahjoo, V. and Golzardi, F. 2019. Sorghum Cultivation (Handbook). Agricultural Education Publication, Tehran, Iran. [In Persian].

Lamari, L. and Bernier, B.B. 1989. Evaluation of wheat lines and cultivars to tan spot based on lesion type. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 11, 49-56. https://doi.org/10.1080/07060668909501146.

Mehrian, F. and Rahjoo, V. 2004. Investigation of Sorghum Target leaf spot and resistance of some cultivars to causal agents. Proceedings of the 17th Iranian Plant Protection Congress. September 2-5, University of Tehran, Karaj, Iran. [In Persian].

Mohan, S.M., Madhusudhana, R., Mathur, K., Chakravarthi, D.V.N., Rathore, S., Nagaraja, R., Reddy, R.N., Satish, K., Srinivas, G., Mani, N.S. and Seetharama, N. 2010. Identification of quantitative trait loci associated with resistance to foliar diseases in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.)

Moench]. *Euphytica*, 176, pp. 199-211. https://doi.org/10.1007/s10681-010-0224-x.

Rahimian, H. 1994. Bacterial leaf streak of sorghum in Kerman province. *Iranian Journal of plant pathology*, 30, pp. 1-8.

Sharma, R., Upadhyaya, H.D., Manjunatta, S.V., Rao, V.P. and Thakur, R.P. 2012. Resistance to foliar diseases in a mini-core collection of sorghum germplasm. *Plant Disease*, 96, pp. 1629-1633. https://doi.org/10.1094/PDIS-10-11-0875-RE.

Sivanesan, A. 1987. Garminicolous Species of *Bipolaris*, *Drechslera*, *Exserohilum* and Their Teleomorphs. Series Mycological Papers. CAB International, Wallingford, Oxon. 261 p. https://doi.org/10.2307/3759472.

Tangonan, N.G. and Dalmacio, S.C. 1992. Sorghum Disease in the Philippines. In: de Milliano, W.A.J., Frederiksen, R.A. and Bengston, G.D. (Eds.). Sorghum and Millet Diseases: A Second Word Review. ICRISAT. Patancheru, India. pp. 35-40.

Thakur, R.P., Reddy, B.V.S. and Mathur, K. 2007. Screening techniques for sorghum diseases. Information Bulletin No. 76. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Andhra Pradesh, India.

Tsukiboshi, T., Kasuga, S., and Kimigafukuro, T. 1990. Inheritance of resistance to target leaf spot caused by *Bipolaris cookei* (Saccardo) Shoemaker in sorghum (*Sorghum bicolor* Moench..*Journal of Japanese Society of Grassland Science*, 35(4), pp. 302-308. https://doi.org/10.14941/grass.35.302.

Xu, X., Liu, Zh., Dong, H., Zhao, Q., Jiang, Y. and Platinum, A. 2000. A preliminary study on a new disease of sorghum-target spot disease. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 31(3), pp. 249-253. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1700.2000.03.005.

Zhu, X., Reid, L.M., Woldemariam, T., Wu, J., Jindal, K.K. and Kebede, A. 2023. Resistance breeding for Northern corn leaf blight with dominant genes, polygene, and their combinations effects on disease traits. *Agronomy*, 13(4), 1096. https://doi.org/10.3390/agronomy13041096.

Zummo, N. and Gourley, L.M. 1987. Occurrence of target leaf spot (*Bipolaris sorghicola*) on sorghum in Mississippi. *Plant Disease*, 71, 1045. https://doi.org/10.1094/PD-71-1045B.