



University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research

Vol. 12, No. 4, Winter 2023 (399-415)

doi: 10.22124/CR.2023.24778.1772

pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Effect of covered smut disease on phenological, physiological and agronomic traits of barley cultivars

Hossein Nohtani¹, Mahmood Solouki², Reza Aghnoum³, Barat Ali Fakheri^{4*}, Nafiseh Mahdinezhad⁵ and Behnam Bakhshi⁶

1. Ph.D. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
2. Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
3. Research Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
4. Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran (*Corresponding author: ba_fakheri@yahoo.com)
5. Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
6. Research Assistant Professor, Sistan and Blouchestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Covered smut disease caused by the biotrophic fungus, *Ustilago hordei* (Pers.) Lagerh., is one of the significant limiting factors in barley cultivation. This disease is present in all barley cultivation regions, and if seeds of sensitive cultivars are planted without the use of fungicides, it can become a serious problem. Moreover, this disease adversely affects grain quality by contamination of healthy seeds with teliospores. The contamination level in the farms of Karaj and Zabol in 1990-1992 ranged from zero to 90%. Considering the importance of organic agriculture and the public demand for production systems with reduced chemicals inputs, planting improved seeds with genetic resistance is the most effective and economical approach to control this disease. This research was conducted to assess the sensitivity of barley cultivars to the covered smut disease and to evaluate the effect of this disease on the phenological, physiological, and agronomic characteristics of barley cultivars.

Materials and methods

In this study, 148 spring barley varieties from common commercial varieties from European countries along with Oxin and Zehak cultivars from Iran were investigated. This experiment was conducted in field conditions using an alpha lattice design with two replications under two environmental conditions, disinfection of seeds with fungicide and disease stress by inoculation of the covered smut pathogen, in the Zehak Agricultural Research Station, Sistan and Blouchestan province, Iran, in 2021-22 growing season. To induce the stress of covered smut disease, the seeds of the studied cultivars were artificially contaminated. The measured traits in this experiment included phenological, morphological, physiological, and agronomic traits, as well as spike infection percentage after maturity. To perform statistical analyses, the normal distribution of the collected data was firstly tested using the Shapiro-Wilk test, and then combined analysis of variance was conducted. Comparison of means, simple correlation coefficients between traits, principal component analysis, and heritability of the studied traits were conducted.



Research findings

The results showed that the occurrence rate of covered smut disease among the studied cultivars under disease inoculation conditions varied from 0% to 26.48% with the average of 3.51%. The genotype × environment interaction for all studied traits including days to tillering, tiller number per plant, plant height, flag leaf length and width, flag leaf sheath length, peduncle length, spike length, number of nodes, internode distance, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, water-soluble carbohydrate concentration, and disease infection percentage, was significant at 1% probability level, except for phenological traits including days to germination, days to tillering, days to heading, as well as canopy temperature. The heritability rate of resistance to covered smut disease was 97.89%. Also, a negative and significant correlation was observed between the percentage of disease infection with plant height, flag leaf sheath length, peduncle length, spike length at the 1% probability level, and with biological yield at the 5% probability level.

Conclusion

The results of this research showed that there was a significant genetic diversity among the evaluated cultivars and the studied cultivars exhibited diverse reactions to different environmental conditions. Due to the significant impact of covered smut disease or loose smut disease on spike-related traits during the maturity stage, therefore it is challenging to differentiate resistant cultivars from susceptible ones in other stages and traits, and the selection of resistant cultivars requires waiting until the end of the cropping season.

Keywords: Commercial cultivars, Correlation, Disease infection, Grain yield and yield components, Resistance, *Ustilago hordei*,

Received: October 8, 2022

Accepted: January 18, 2023

Cite this article:

Nohtani, H., Solouki, M., Aghnoum, R., Fakheri, B.A., Mahdinezhad, N. and Bakhshi, B. 2023. Effect of Covered Smut Disease on Phenological, Physiological and Agronomic Traits of Barley Cultivars. *Cereal Research*, 12(4), pp. 399-415.



اثر بیماری سیاهک پنهان (سخت) بر صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام جو

حسین نهتانی^۱، محمود سلوکی^۲، رضا اقنوم^۳، براتعلی فاخری^{۴*}، نفیسه مهدی نژاد^۵ و بهنام بخشی^۶

۱- دانشجوی دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۴- استاد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران (*نویسنده مسئول)

ba_fakheri@yahoo.com

۵- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۶- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان و بلوچستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

چکیده جامع

مقدمه: بیماری سیاهک پنهان یا سخت جو که توسط قارچ بیوتروف *Ustilago hordei* (Pers.) Lagerh. ایجاد می‌شود، یکی از عوامل محدودکننده در کشت جو است. این بیماری در تمام مناطق کشت جو وجود دارد و با کاشت بذر ارقام حساس بدون ضدعفونی با قارچ‌کش، می‌تواند ابعاد جدی به‌خود بگیرد. این بیماری به دلیل اختلاط دانه‌های جو با تلئوسپورها، بر کیفیت دانه تأثیر منفی می‌گذارد. میزان آلودگی در سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۱ در مزارع کرج و زابل بین صفر تا ۹۰ درصد گزارش شد. با توجه به اهمیت کشاورزی ارگانیک و تقاضای عمومی برای سیستم‌های تولید همراه با کاهش مواد شیمیایی، کاشت بذرهای اصلاح شده دارای مقاومت ژنتیکی، موثرترین و اقتصادی‌ترین اقدام برای کنترل این بیماری می‌باشد. این پژوهش به‌منظور ارزیابی حساسیت ارقام جو به بیماری سیاهک پنهان یا سخت جو و اثر این بیماری بر صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام جو بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ۱۴۸ رقم جو بهاره از ارقام تجاری رایج در کشورهای اروپایی به‌همراه ارقام اکسین و زهک از ایران مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در شرایط مزرعه در قالب طرح آزمایشی آلفالاتیس با دو تکرار تحت دو شرایط محیطی، ضد عفونی بذر با قارچ‌کش و تنش بیماری با مایه‌زنی عامل سیاهک پنهان یا سخت جو، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک واقع در شهرستان زهک استان سیستان و بلوچستان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. برای اعمال تنش بیماری سیاهک پنهان جو، آلوده‌سازی مصنوعی بذرهای ارقام مورد مطالعه انجام شد. صفات مورد بررسی شامل صفات فنولوژیک، مرفولوژیک، فیزیولوژیک، زارعی و نیز درصد آلودگی سنبله بعد از رسیدگی بود. برای انجام تجزیه‌های آماری، ابتدا توزیع نرمال داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک بررسی و سپس تجزیه واریانس داده‌ها به صورت مرکب انجام شد. مقایسه میانگین‌ها، ضرایب همبستگی ساده بین صفات، تجزیه به مولفه‌های اصلی و وراثت‌پذیری صفات مورد مطالعه نیز انجام شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج نشان داد که میزان بروز بیماری سیاهک سخت یا پنهان در ارقام مورد مطالعه در شرایط تلقیح با بیماری بین صفر تا ۲۶/۴۸ درصد متغیر و متوسط آن ۳/۵۱ درصد بود. برهمکنش ژنوتیپ و محیط برای تمامی صفات مطالعه شده شامل روز تا ساقه رفتن، تعداد پنجه در بوته، طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله اصلی، تعداد گره، طول میانگره، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و میزان کربوهیدرات محلول در برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما بر صفات فنولوژیک شامل روز تا جوانه‌زنی، روز تا پنجه‌زنی، روز تا ظهور سنبله و نیز دمای کانوپی اثر معنی‌داری نداشت. میزان وراثت‌پذیری مقاومت به بیماری سیاهک پنهان ۹۷/۸۹ درصد برآورد شد. همچنین، همبستگی منفی و معنی‌داری بین بیماری سیاهک پنهان با صفات ارتفاع بوته، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل و طول سنبله اصلی در سطح احتمال یک درصد و با عملکرد زیستی در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل توجهی بین ارقام مورد ارزیابی وجود داشت و ارقام مورد بررسی در شرایط محیطی مختلف، واکنش متفاوتی داشتند. با توجه به اینکه تأثیر بیماری سیاهک پنهان یا سخت جو در مرحله رسیدگی و روی صفات مربوط به سنبله قابل مشاهده است، از این‌رو در عمل شناسایی زودهنگام ارقام مقاوم از حساس در سایر مراحل و صفات مورد بررسی دشوار است و انتخاب ارقام مقاوم نیازمند انتظار تا پایان فصل زراعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی به بیماری، ارقام تجاری، عملکرد و اجزای عملکرد دانه، مقاومت، همبستگی، *Ustilago hordei*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸

نحوه استناد به این مقاله:

نهتانی، حسین، سلوکی، محمود، اقنوم، رضا، فاخری، براتعلی، مهدی‌نژاد، نفیسه و بخشی، بهنام. ۱۴۰۲. اثر بیماری سیاهک پنهان (سخت) بر صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام جو. *تحقیقات غلات*، ۱۲(۴): ۳۹۹-۴۱۵.

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) پس از گندم، برنج و ذرت، چهارمین محصول مهم در بین غلات است و این محصول سهم هفت درصدی از کل تولید غلات جهان را در اختیار دارد (Singh et al., 2021). خسارات ناشی از بیماری‌های مختلف، آفات و همچنین مدیریت نامناسب مزارع، میانگین عملکرد این محصول را در ایران نسبت به سایر کشورها جهان کاهش می‌دهد. از بین تنش‌های مختلف زیستی، بیمارگرهای قارچی بذر باعث کاهش قابل توجه عملکرد جو می‌شوند و در میان آن‌ها، قارچ *Ustilago hordei* (Pers.) Lagerh. سیاهک پنهان یا سخت، یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده در کشت جو است. این بیماری در تمام مناطق کاشت جو وجود دارد و ممکن است در صورت کاشت بذرهای حساس بدون استفاده از قارچ‌کش، ابعاد جدی به خود بگیرد (Mathre, 1997). سیاهک پنهان بعد از بیماری زنگ به‌عنوان یک بیماری عمده غلات در نظر گرفته می‌شود (Mourad et al., 2018b). این بیمارگر همچنین به دلیل اختلاط دانه‌های جو با تلیوسپورها تأثیر منفی بر کیفیت دانه می‌گذارد (Grewal et al., 2008). میانگین خسارت سالانه بیماری سیاهک پنهان جو، دو تا پنج درصد گزارش شده است و تحت شرایط مساعد، خسارت ۳۰ تا ۴۰ درصد نیز قابل انتظار است (Gangwar et al., 2018). این بیماری منجر به کاهش عملکرد در محدوده ۰/۲ تا ۰/۸ درصد در غرب کانادا می‌شود (Thomas and Menzies, 1997). سیاهک پنهان یا سخت جو در ایران توسط اسفندیاری در سال ۱۳۲۶ گزارش شد و میزان آلودگی در سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۱ در مزارع کرج و زابل بین صفر تا ۹۰ درصد گزارش شده است (Salari et al., 1993).

Ustilago hordei یک بیمارگر اجباری خارج از بذر است و به‌صورت تلیوسپور عمدتاً روی بذر یا در خاک آلوده زنده می‌ماند (Singh et al., 2021). حداکثر جوانه‌زنی تلیوسپور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد و در دماهای کم‌تر از ۱۰ درجه و بیش‌تر از ۴۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی صورت نمی‌گیرد (Singh, 2018). جوانه‌زنی تلیوسپورها با جوانه‌زنی بذر هم‌زمان است و قارچ تحت میوز و پلاسموگامی قرار می‌گیرد تا شرایط دو هسته‌ای را قبل از نفوذ به کولتوپتیل در حال رشد دوباره برقرار کند (Fischer and Holton, 1957). قارچ وارد جوانه می‌شود

و با گیاه جو در حال رشد به صورت سیستماتیک رشد می‌کند. مساعدترین شرایط برای بروز این بیماری دمای حدود ۱۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس خاک در ترکیب با رطوبت بالای خاک است (Singh, 2018). بیماری سیاهک پنهان یا سخت در مراحل اولیه فنولوژیکی گیاه بدون علائم واضح است. ریشه‌های قارچ بیمارگر در مراحل جوانه‌زنی به مریستم ساقه حمله می‌کند (Wunderle et al., 2012) و موقعیت خود را درون مریستم انتهایی تا زمان گلدهی حفظ می‌کند و سپس قارچ درون بافت تخمدان منشعب می‌شود. با قطعه قطعه شدن و گرد شدن میسلیم بین سلولی، تلیوسپور دیپلوئید تشکیل می‌شود. محتویات بذر با توده‌ای سیاه رنگ از تلیوسپورها که درون غشای پایدار نگه داشته شده‌اند، جایگزین می‌شوند (Grewal et al., 2008). غشاء حین برداشت و خرمکوبی محصول می‌ترکد و تلیوسپورها دانه‌های سالم را آلوده می‌کنند یا روی سطح خاک می‌ریزند (Mathre, 1997). از آنجایی که *U. hordei* در طبیعت یک بیمارگر خارج از بذر است، بنابراین می‌توان آن را به راحتی با کاشت بذر عاری از بیماری، تیمار بذر با قارچ‌کش‌های مناسب یا کشت ارقام مقاوم کنترل کرد. در این میان، موثرترین راه مبارزه با بیماری سیاهک پنهان جو، تیمار بذر با قارچ‌کش است، اما انجام این کار ضمن افزایش هزینه تولید، باعث ایجاد مقاومت در بیمارگر در اثر استفاده مداوم از قارچ‌کش‌ها می‌شود (Kaur et al., 2014) و کارایی قارچ‌کش‌ها در مقابل این بیماری کاهش یابد.

با افزایش اهمیت کشاورزی ارگانیک، که در آن استفاده از قارچ‌کش برای ضدعفونی بذر مجاز نیست و نیز افزایش تقاضای عمومی برای سیستم‌های تولید با کاهش مواد شیمیایی، کاشت بذرهای اصلاح شده دارای مقاومت ژنتیکی، موثرترین و اقتصادی‌ترین اقدام برای کنترل این بیماری است (Grewal et al., 2008). مکانیسم دفاعی اصلی ارقام مقاوم، واکنش فوق حساسیت است، که شامل مرگ سریع سلول‌های میزبان، قهوه‌ای شدن بافت و تجمع مواد ضد میکروبی است. این واکنش‌های نکرزه، نتیجه دفاع ساختاری و فیزیولوژیک است. در ارقام مقاوم، سلول‌های مورد حمله به سرعت تورگر را از دست می‌دهند و می‌میرند، در حالی که این واکنش‌ها در ارقام حساس وجود ندارد (Singh et al., 2021). گروال و همکاران (Grewal et al., 2006) نشان دادند که ژنوتیپ‌های جو بدون پوشینه نسبت به ژنوتیپ‌های پوشینه‌دار حساس‌تر

زهک واقع در شهرستان زهک با طول جغرافیایی بین ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی بین ۳۰ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ اجرا شد. اطلاعات هواشناسی منطقه در جدول ۱ ارائه شده است.

مواد گیاهی تحقیق شامل ۱۴۸ رقم جو بهاره از ارقام تجاری رایج در کشورهای اروپایی تهیه شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی به همراه ارقام اکسین و زهک از ایران بود (جدول ۲). برای اعمال تنش بیماری، آلوده‌سازی مصنوعی بذر به روش گوتس (Goates, 1996) با مخلوط نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری سیاهک پنهان جمع‌آوری شده از مزارع آلوده منطقه سیستان انجام شد. هر تکرار شامل ۱۰ بلوک ناقص با ۱۵ کرت بود. کاشت بذر به صورت هیرم‌کاری در کرت‌های دو ردیفه به طول دو متر با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و در عمق سه سانتی‌متری خاک انجام شد. مراقبت‌های زراعی لازم شامل مصرف کود سرک و وجین علف‌های هرز طی فصل زراعی انجام و آبیاری مزرعه نیز با آب چاهک‌های ایستگاه با هدایت الکتریکی $pH=7$ و $EC= 5.36 \text{ dS.m}^{-1}$ انجام شد.

هستند. کاهش عملکرد دانه ناشی از خسارت سیاهک پنهان در ارقام مختلف گندم بین ۲ تا ۶۳ درصد گزارش شده است (Dumalasova *et al.*, 2014). دادرسانی و طباطبائی (Dadrezai and Tabatabaei, 2021) نیز میزان آلودگی به این بیماری را در بین ۱۰۰ ژنوتیپ جو در استان خوزستان بین ۲۲-۲۸ درصد گزارش کردند. گراول و همکاران (Grewal *et al.*, 2006) نیز با ارزیابی ۳۵ ژنوتیپ جو در شرایط مزرعه، میزان بیماری سیاهک پنهان را در شش ژنوتیپ بین ۰/۱ تا یک درصد، در ۱۶ ژنوتیپ بین یک تا ده درصد و در کل بین صفر تا ۵/۵ درصد اعلام کردند. هدف از این پژوهش، ارزیابی واکنش ۱۵۰ رقم جو نسبت به بیماری سیاهک پنهان یا سخت جو و اثر این بیماری بر ویژگی‌های فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام مورد مطالعه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شرایط مزرعه در قالب طرح آزمایشی آلفالتیس با دو تکرار در دو شرایط نرمال (ضد عفونی بذر با قارچ‌کش تبوکونازول دو درصد دی اس) و تنش بیماری سیاهک پنهان یا سخت جو در ایستگاه تحقیقات کشاورزی

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 1. Meteorological information in the experimental site in 2021-2022

Month	Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Evaporation (mm)
October	23	0	415
November	25	0	241
December	13	0	129
January	11	9	93
February	11	0	155
March	21	3	193
April	31	0	299
May	32	11	508
June	37	0	598
July	38	33	707
August	35	0	702
September	32	0	517

شامل میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن نمونه برگ (Schlegl, 1956) و دمای کانوپی بودند. همچنین، درصد آلودگی سنبله پس از رسیدگی گیاه از طریق مشاهده و شمارش سنبله آلوده (Grewal *et al.*, 2006)، و در بیش‌تر موارد با باز کردن غلاف برگ پرچم به دلیل احتمال کوتاهی طول پدانکل و طول سنبله در اثر بیماری سیاهک پنهان اندازه‌گیری شد.

صفات مورد بررسی در این آزمایش، صفات فنولوژیک شامل روز تا جوانه‌زنی، روز تا پنجه‌دهی، روز تا ساقه رفتن و روز تا ظهور سنبله، صفات زراعی و مرفولوژیک شامل تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته، طول میان‌گره، طول سنبله، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، تعداد گره، وزن هزار دانه، طول و عرض برگ پرچم، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و صفات فیزیولوژیک

REML)، تجزیه به مولفه‌های اصلی، ضرایب همبستگی بین صفات و وراثت‌پذیری عمومی بر مبنای نژادگان صفات محاسبه شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.1، GenStat 15 و SPSS 13 انجام شد.

جهت انجام تجزیه‌های آماری، پس از بررسی توزیع نرمال داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها انجام شد. آماره‌های توصیفی، مقایسه میانگین‌ها (از طریق تجزیه

جدول ۲- ارقام جو در بررسی مزرعه‌ای مقاومت به سیاهک پنهان (سخت) جو

Table 2. Cultivar of Barley in field evaluation of resistance to Covered Smut

No.	Variety	Breeder	No.	Variety	Breeder
1	Abed4611	Abed Fonden	48	Cork	New Farm Crops Ltd.
2	Abed5193	Abed Fonden	49	Culma	Clovis Matton PVBA
3	Abelone	New Farm Crops Ltd.	50	Decanter	Nickerson Pflanzenzucht GmbH
4	Adele	Plant Breeding International Ltd.	51	Delibes	Nickerson UK Ltd.
5	Akita	CPB	52	Delita	Nordsaat Saatzucht GmbH
6	Alabama	Lochow-Petkus GmbH	53	Derkado	Nordsaat Saatzucht GmbH
7	Alanis	Sejet Planteforædling	54	Dialog	Sejet Planteforædling
8	Albright	Abed Fonden	55	Digger	ICI Seeds Ltd.
9	Alexis	Saatzucht Josef Breun	56	Enigma	New Farm Crops Ltd.
10	Alliot	Pajbjergfonden	57	Escort	Nickerson UK Ltd.
11	Annabell	Nordsaat Saatzucht GmbH	58	Etna	Abed Fonden
12	Annasofie	Pajbjergfonden	59	Evelyn	Saatzucht LFS
13	Apex	Cebeco Zaden BV	60	Extract	New Farm Crops Ltd.
14	Aravis	Secobra Recherches	61	Ferment	New Farm Crops Ltd.
15	Ardila	Landbouwbureau Wiersum	62	Fusion	Sejet Planteforædling
16	Ariel	Svalöf Weibull AB	63	Gant	Carlsberg A/S
17	Aspen	Nickerson UK Ltd.	64	Gesine	Nordsaat Saatzucht GmbH
18	Astoria	Secobra Recherches	65	Give	Abed Fonden
19	Barke	Saatzucht Josef Breun	66	Goldie	Svalöf Weibull AB
20	Bartok	Nickerson UK Ltd.	67	Hanka	Saatzucht Hadmersleben GmbH
21	Bella	Schweiger & Co.	68	Henni	Nordsaat Saatzucht GmbH
22	Bereta	Abed Fonden	69	Heron	ICI Seeds Ltd.
23	Blenheim	Plant Breeding International Ltd.	70	Hydrogen	Pajbjergfonden
24	Bond	Sejet Planteforædling	71	Jacinta	Pajbjergfonden
25	Brenda	Saatzucht Hadmersleben GmbH	72	Jarek	Agricultural Research Institute Kromeriz, Ltd.
26	Brewster	New Farm Crops Ltd.	73	Jersey	Cebeco Zaden BV
27	Brise	New Farm Crops Ltd.	74	Jill	Svalöf Weibull AB
28	Britta	Saatzucht Hadmersleben GmbH	75	Korinna	Saatzucht Hadmersleben GmbH
29	Cadeau	Abed Fonden	76	Krona	Saatzucht Hadmersleben GmbH
30	Calyпсо	Carlsberg A/S	77	Lamba	Sejet Planteforædling
31	Camant	Carlsberg A/S	78	Lenka	Saatzucht Hadmersleben GmbH
32	Caminant	Carlsberg A/S	79	Libelle	Saatzucht Josef Breun
33	Canut	Carlsberg A/S	80	Limbo	Svalöf Weibull AB
34	Caruso	Carlsberg A/S	81	Linus	Svalöf Weibull AB
35	Caskant	Carlsberg A/S	82	Lisbet	Pajbjergfonden
36	Cathrine	Abed Fonden	83	Loma	Abed Fonden
37	Cecilia	Svalöf Weibull AB	84	Lux	Sejet Planteforædling
38	Century	Nickerson UK Ltd.	85	Lysiba	Sejet Planteforædling
39	Chalice	New Farm Crops Ltd.	86	Lysimax	Sejet Planteforædling
40	Chamant	Carlsberg A/S	87	Madonna	Lochow-Petkus GmbH
41	Chariot	Plant Breeding International Ltd.	88	Madras	Lochow-Petkus GmbH
42	Charlotte	Pflanzenzucht Dr. H.C. Carsten	89	Mandolin	Advanta Seeds BV
43	Charon	Abed Fonden	90	Maresi	Lochow-Petkus GmbH
44	Christian	Abed Fonden	91	Marina	Lochow-Petkus GmbH
45	Cicero	Sejet Planteforædling	92	Maud	Svalöf Weibull AB
46	Collie	Nickerson UK Ltd.	93	Meltan	Svalöf Weibull AB
47	Cooper	New Farm Crops Ltd.	94	Mentor	Svalöf Weibull AB

Table 2. Continued

جدول ۲- ادامه

No.	Variety	Breeder	No.	Variety	Breeder
95	Merete	Pajbjergfonden	123	Ricarda	Nickerson UK Ltd.
96	Mie	Svalöf Weibull AB	124	Riga	Abed Fonden
97	Miralix	Sejet Planteforædling	125	Roxana	Saatzucht Josef Breun
98	Neruda	Nickerson UK Ltd.	126	Sabel	New Farm Crops Ltd.
99	Nevada	Secobra Recherches	127	Saloon	New Farm Crops Ltd.
100	Nizza	Saatzucht Josef Breun	128	Scarlett	Saatzucht Josef Breun
101	Odin	Plant Breeding International Ltd.	129	Senor	Sejet Planteforædling
102	Optic	New Farm Crops Ltd.	130	Shamu	Sejet Planteforædling
103	Optima	Saatzucht Josef Breun	131	SJ5095	Sejet Planteforædling
104	Orthegea	Lochow-Petkus GmbH	132	Static	New Farm Crops Ltd.
105	Otira	Sejet Planteforædling	133	Steffi	Ackerman & Co, Saatzaucht Irlbach
106	Paloma	Abed Fonden	134	Sultane	Secobra Recherches
107	Pasadena	Lochow-Petkus GmbH	135	Teal	New Farm Crops Ltd.
108	Peel	New Farm Crops Ltd.	136	Texane	Secobra Recherches
109	Peggy	Saatzauchtgesellschaft Streng's Erben GmbH & Co. KG	137	Thuringia	Ackerman & Co, Saatzaucht Irlbach
110	PF11011-52	Pajbjergfonden	138	Tirup	Svalöf Weibull AB
111	PF11202-53	Pajbjergfonden	139	Tofta	Svalöf Weibull AB
112	Polygena	Saatzaucht Hadmersleben GmbH	140	Trebon	Svalöf Weibull AB
113	Pongo	Svalöf Weibull AB	141	Tremois	Verneuil Semences
114	Potter	Svalöf Weibull AB	142	Trianon	Secobra Recherches
115	Prestige	Plant Breeding International Ltd.	143	UN AE 3.1	Unisigma, GIE Recherche et Sélection
116	Princesse	Nordsaat Saatzaucht GmbH	144	Vada	IVP Wageningen
117	Prisma	Landbouwbureau Wiersum	145	Verona	Abed Fonden
118	Prolog	Sejet Planteforædling	146	Vintage	New Farm Crops Ltd.
119	Prominant	Sejet Planteforædling	147	Viskosa	Nordsaat Saatzaucht GmbH
120	Punto	Sejet Planteforædling	148	Wren	Advanta/Zeneca
121	Ragtime	Advanta Seeds BV	149	Oxin	AREEO IRI
122	Reggae	Advanta Seeds BV	150	Zahak	AREEO IRI

نتایج و بحث

نتایج تجربه واریانس مرکب صفات مورد بررسی (جدول ۳) نشان داد که اثر محیط به جز صفت تعداد گره، روی صفات روز تا جوانه‌زنی، روز تا ساقه رفتن، روز تا ظهور سنبله، ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله اصلی، طول میانگره، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ و دمای کانوپی در سطح احتمال یک درصد و برای صفت روز تا پنجه‌زنی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود که نشان دهنده نقش تنش بیماری نسبت به شرایط نرمال و تحت تاثیر قرار گرفتن صفات مورد مطالعه در دو شرایط آزمایشی بود. اثر ژنوتیپ نیز برای صفات روز تا جوانه‌زنی، روز تا ساقه رفتن، روز تا ظهور سنبله، طول برگ پرچم، طول سنبله، تعداد گره، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص

برداشت و میزان آلودگی به بیماری در سطح احتمال یک درصد و برای صفات روز تا پنجه‌دهی، ارتفاع بوته، عرض برگ پرچم و طول غلاف برگ پرچم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه بین ارقام مورد ارزیابی بود (جدول ۳). برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط برای صفات روز تا ساقه رفتن، تعداد پنجه در بوته، طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله اصلی، تعداد گره، طول میانگره، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و میزان کربوهیدرات محلول در برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و نشان داد که ارقام مورد بررسی در این آزمایش، واکنش‌های متفاوتی در دو شرایط محیطی تنش بیماری و نرمال داشتند. در مقابل، برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط اثر معنی‌داری روی صفت دمای کانوپی و صفات فنولوژیک روز تا جوانه‌زنی، روز تا پنجه‌زنی و روز تا ظهور سنبله نداشت، به این معنی

که واکنش ارقام در دو شرایط محیطی از نظر این صفات یکسان بود. امارا و فریک (Emara and Freake, 1981) نیز اثر محیط، ژنوتیپ و برهم کنش آنها را بر بیماری زایی قارچ *U. hordei* در شرایط گلخانه و مزرعه با شمارش سنبله‌های آلوده، ارزیابی و مشاهده کردند که قدرت بیماری‌زایی این قارچ در محیط‌های مختلف، متفاوت بوده و قارچ نسبت به محیط حساس و متغیر است. نتایج مطالعات مراد و همکاران (Mourad et al., 2018a) روی ارقام گندم نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شرایط مایه‌زنی بذرها با عامل بیماری سیاهک پنهان گندم و ضد عفونی بذرها با قارچ‌کش از نظر صفات جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، طول سنبله، روز تا ظهور سنبله و عملکرد زیستی وجود داشت، اما تعداد پنجه در بوته غیرمعنی‌دار بود. میزان وراثت‌پذیری مقاومت به بیماری در تحقیق حاضر ۹۷/۸۹ درصد برآورد شد (جدول ۳)، که نشان دهنده توارث بالای مقاومت به سیاهک بود (Grewal et al., 2006, 2008).

بیماری سیاهک پنهان پس از آلوده‌سازی گیاه برای سرکوب پاسخ‌های دفاعی، مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر پرآزاری را ترشح می‌کند. افکتورها در مراحل آلودگی میزبان از جمله نفوذ به اپیدرم و رشد بین سلول و داخل سلول مؤثر است. افکتورها فرآیندهای ایمنی، سوخت و ساز و عملکرد گیاه را به سود بیمارگر تغییر می‌دهند (Zuo et al., 2019). یک برهم‌کنش ژن برای ژن بین ژن‌های *Avr* در بسیاری از سیاهک‌ها و بسیاری از ژن‌های مقاومت (*R*) میزبان وجود دارد (Sidhu and Person, 1972; Goates, 1996). چهار ژن (*Uvi3*, *Uvi2*, *Uvi1*) به‌عنوان افکتورهای مؤثر پرآزاری در سیاهک پنهان یا سخت جو شناسایی شده‌اند. این عوامل پرآزاری اثر بازدارندگی در گیاه ایجاد و برای پرآزاری کامل، ضروری هستند (Ökmen et al., 2018) تهاجم بیمارگر اغلب با شناسایی اثرات توسط گیاه بی‌اثر می‌شود. در قارچ *U. hordei* عامل سیاهک پنهان یا سخت، یک مکان ژنی ناپرآزاری غالب *UhAvr1* باعث ایجاد ایمنی در ارقام جو حامل ژن مقاومت *Ruh1* می‌شود. نتایج تجزیه و تحلیل توالی‌یابی DNA این منطقه، دلالت بر هفت افکتور

پروتئینی مؤثر در این مکان دارد. نتایج پژوهش علی و همکاران (Ali et al., 2014) نشان داد هنگامی که سلول‌های کلنوپتیل جو مقاوم یا ارقام حامل ژن مقاومت *Ruh1* توسط ریشه‌های دی‌کاریوتیک آلوده می‌شوند، افکتورهای تولید از منطقه *UhAvr1p* قارچ باعث رسوب موضعی کالوز و نکروز در سلول‌های حامل ژن مقاومت *Ruh1* می‌شود و این واکنش ایمنی است. افکتورها زمانی بیان می‌شوند که ریشه‌ها سلول‌های اپیدرمی کلنوپتیل جو را آلوده کنند و حضور قارچ بلافاصله بعد از نفوذ، باعث واکنش نکروزه در گیاه و ایمنی کامل در ارقام جو مقاوم می‌شود. قارچ‌های جهش‌یافته در بیان این افکتورها از شناسایی توسط گیاه جلوگیری کرده و پاسخ ایمنی رخ نمی‌دهد و واکنش حساسیت بروز می‌کند. ارقام جو مقاوم از طریق برهم‌کنش ژن‌های مقاومت (*R*) که با شش ژن شناخته شده *Avr* در نژادهای مختلف قارچ عامل بیماری سیاهک پنهان (سخت) وجود دارند، اقدام به کنترل بیماری می‌کنند (Sidhu and Person, 1971).

نتایج مقایسه میانگین‌های به‌دست آمده از طریق تجزیه REML اختلاف معنی‌داری برای برخی از صفات مورد ارزیابی در تمامی ارقام بین شرایط بیماری و عدم بیماری (ضدعفونی بذر با قارچ‌کش) نشان داد (جدول ۴). تحت شرایط بیماری، مرحله روز تا ساقه رفتن به‌مدت تقریبی دو روز افزایش یافت، اما تأثیر معنی‌داری روی سایر مراحل فنولوژیک ارقام نسبت به شرایط بدون بیماری ایجاد نکرد. کاهش میانگین صفات تعداد پنجه، طول میانگره، طول و عرض برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت در شرایط بیماری نسبت به شرایط بدون بیماری مشاهده شد. بیش‌ترین کاهش میانگین صفات در بوته‌های آلوده نسبت به بوته‌های سالم در صفات تعداد پنجه، ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، دمای کانویی و میزان کربوهیدرات‌های محلول مشاهده شد. اولین سنبله‌هایی که در ارقام حساس ظاهر می‌شوند، اغلب بدون بروز بیماری هستند (Grewal et al., 2006).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زراعی ارقام جو تحت شرایط نرمال و تنش بیماری

Table 3. Analysis of variance for Phenological, physiological and agronomic traits of Barley varieties under normal and disease stress conditions

Source of variation	df	Mean square [†]									
		DGE	DTI	DST	DHE	TN	PHT	FLL	FLW	SHFLL	PL
Environment (E)	1	20.17**	1.71*	413.34**	403.44**	1378.65**	4522.66**	691.76**	1.40**	655.22**	2100.53**
Replication (R) / E	2	14.42**	0.39 ^{n.s}	9.66**	72.72 ^{n.s}	0.84 ^{n.s}	8.80 ^{n.s}	2.45 ^{n.s}	0.06*	1.03 ^{n.s}	3.01 ^{n.s}
Block / (R × E)	36	0.15 ^{n.s}	0.31 ^{n.s}	0.47 ^{n.s}	18.24*	1.81*	12.55 ^{n.s}	0.90 ^{n.s}	0.01 ^{n.s}	2.41 ^{n.s}	2.98*
Genotype (G)	149	0.30**	0.36*	8.38**	63.29**	11.62 ^{n.s}	80.23*	8.36**	0.04*	14.05*	13.22 ^{n.s}
G × E	149	0.19 ^{n.s}	0.28 ^{n.s}	2.70**	11.44 ^{n.s}	11.29**	61.03**	5.34**	0.03**	10.05**	10.74**
Error	262	0.20	0.26	0.62	10.76	1.07	14.82	0.77	0.01	2.66	1.99
CV (%)	-	2.93	1.75	1.07	3.17	14.36	8.00	11.80	18.14	9.05	13.58
h_b^2	-	69.59	58.88	84.87	95.04	11.96	45.99	55.83	48.40	53.23	36.23

Table 3. Continued

جدول ۳- ادامه

Source of variation	df	Mean square [†]									
		SL	NN	ID	TGW	GYLD	BY	HI	DI	CT	WSC
Environment (E)	1	449.45**	0.24 ^{n.s}	335.85**	3073.61**	80621.43**	513984.13**	984.06**	-	3802.68**	14482.84**
Replication (R) / E	2	0.05 ^{n.s}	0.06 ^{n.s}	7.25*	75.57*	2051.55**	35632.53*	48.51*	0.56 ^{n.s}	470.46**	21.85 ^{n.s}
Block / (R × E)	36	0.53 ^{n.s}	0.07 ^{n.s}	1.28 ^{n.s}	9.73 ^{n.s}	219.82 ^{n.s}	4566.33 ^{n.s}	10.49 ^{n.s}	2.04 ^{n.s}	29.04**	27.73 ^{n.s}
Genotype (G)	149	3.39**	0.58**	6.07 ^{n.s}	160.95**	2996.30**	40243.51**	99.54**	44.18**	5.54 ^{n.s}	657.93 ^{n.s}
G × E	149	2.16**	0.35**	5.52**	96.37**	1937.18**	24133.16**	67.85**	-	4.71 ^{n.s}	533.80**
Error	262	0.54	0.10	1.63	10.16	196.10	3792.95	10.34	1.41	4.65	31.00
CV (%)	-	10.34	5.09	13.84	8.29	27.43	17.54	23.52	30.86	7.31	11.00
h_b^2	-	60.27	63.66	16.69	59.90	56.50	66.92	46.99	97.89	36.59	19.25

^{n.s}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†] Traits abbreviations are including: DGE, days to germination; DTI, days to tillering; DST, days to stemming; DHE, days to heading; TN, tiller number per plant; PHT, plant height (cm); FLL, flag leaf length (cm); FLW, flag leaf width (cm); SHFLL, sheath flag leaf length (cm); PL, peduncle length (cm); SL, spike length (cm); NN, number of nodes; ID, internode distance (cm); TGW, thousand grain weight (g); GYLD, grain yield (g); BY, biological yield (g); HI, harvest index (%); DI, disease infection (%); CT, canopy temperature (°C); WSC, water soluble carbohydrate concentration (mg/g leaf fresh weight).

شرایط تنش بیماری به دلیل کاهش حجم بوته‌ها و کاهش عملکرد زیستی است. میزان کربوهیدرات محلول در برگ نیز در شرایط بیماری و بدون بیماری به ترتیب ۴۵/۷۲ و ۵۵/۵۵ میلی‌گرم بر گرم اندازه‌گیری شد که می‌تواند دلیلی بر مصرف قند محلول در برگ توسط ریشه‌های قارچ باشد (جدول ۴). در رابطه با میزان آلودگی به بیماری سیاهک پنهان یا سخت جو در شرایط مایه‌زنی نیز نتایج این آزمایش نشان داد که میزان بروز بیماری در ارقام مختلف بین صفر تا ۲۶/۴۸ درصد با میانگین ۳/۵۱ درصد بود، در حالی که در شرایط استفاده از قارچ‌کش، بیماری سیاهک در هیچ‌یک از ارقام مشاهده نشد. برای بیماری سیاهک پنهان تعیین واکنش ارقام طی سال‌های مختلف دشوار است، زیرا آلودگی ناسازگار و حتی در ارقام بسیار حساس نیز برخی بوته‌ها عاری از بیماری هستند (Grewal et al., 2006; Singh et al., 2020).

میانگین صفات در شرایط تنش بیماری نسبت به شرایط بدون بیماری (استفاده از قارچ‌کش) به ترتیب برای ارتفاع بوته (۴۵/۳۸ و ۵۰/۸۷ سانتی‌متر)، طول برگ پرچم (۱۶/۹۷ و ۶/۳۷ و ۸/۵۲ سانتی‌متر)، طول غلاف برگ پرچم (۱۲/۲۶ و ۱۹/۰۶ سانتی‌متر)، طول پدانکل (۸/۵۲ و ۸/۰ سانتی‌متر) و وزن هزار دانه (۳۶/۱۹ و ۴۰/۷۲ گرم) بود که تاثیر قابل توجه تنش بیماری سیاهک پنهان در کاهش تمامی این صفات را نشان داد. متوسط عملکرد دانه و عملکرد زیستی در تمامی ارقام در شرایط بدون بیماری به ترتیب ۶۲/۶۵ و ۳۸۰/۴۵ گرم بود که در شرایط تنش بیماری به ترتیب به ۳۹/۴۶ و ۳۲۱/۹۱ گرم کاهش یافت. متوسط دمای پوشش گیاهی نیز در تمامی ارقام در شرایط بیماری ۳۲ درجه سلسیوس و در شرایط بدون بیماری ۲۷ درجه سلسیوس بود که نشان دهنده افزایش دمای پوشش گیاهی در

جدول ۴- مقایسه میانگین (بر اساس تجزیه REML) صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام جو تحت شرایط نرمال و تنش بیماری
Table 4. Comparison of means (based on REML analysis) for phenological, physiological and agronomic traits of barley varieties under normal and disease stress conditions

Traits	Normal conditions	Disease stress conditions
Days to germination	14.99 ^a	15.36 ^a
Days to tillering	29.22 ^a	29.11 ^a
Days to stemming	72.96 ^b	74.62 ^a
Days to heading	104.22 ^a	102.58 ^a
Tiller number per plant	8.73 ^a	5.70 ^b
Plant height (cm)	50.87 ^a	45.38 ^b
Flag leaf length (cm)	8.52 ^a	6.37 ^b
Flag leaf width (cm)	0.50 ^a	0.41 ^b
Sheath flag leaf length (cm)	19.06 ^a	16.97 ^b
Peduncle length (cm)	12.26 ^a	8.52 ^b
Spike length (cm)	8.00 ^a	6.27 ^b
Number of nodes	6.24 ^a	6.20 ^a
Internode distance (cm)	9.99 ^a	8.49 ^b
Thousand grain weight (g)	40.72 ^a	36.19 ^b
Grain yield (g)	62.65 ^a	39.46 ^b
Biological yield (g)	380.45 ^a	321.91 ^b
Harvest index (%)	14.95 ^a	12.39 ^b
Disease infection (%)	0.00 ^b	3.51 ^a
Canopy temperature (°C)	26.97 ^b	32.00 ^a
Water soluble carbohydrate concentration (mg/g LFW)	55.55 ^a	45.72 ^b

Means followed by similar letter (s) in each row are not significantly different at 5% probability level.

سخت جو با صفات ارتفاع بوته ($r = -0.217$)، طول غلاف برگ پرچم ($r = -0.355$)، طول پدانکل ($r = -0.272$) و طول سنبله اصلی ($r = -0.25$) در سطح احتمال یک درصد و عملکرد زیستی ($r = -0.167$) در سطح احتمال

ضرایب همبستگی بین ۲۰ صفت اندازه‌گیری شده در ۱۵۰ ژنوتیپ جو مورد بررسی در شرایط تنش بیماری سیاهک پنهان جو در جدول ۵ ارائه شده است. همبستگی منفی و معنی‌داری بین درصد بیماری سیاهک پنهان یا

دیگری میزان بروز بیماری سیاهک پنهان در گندم با اجزای عملکرد دانه همبستگی مثبت نشان داد که البته این ارتباط را نمی‌توان به اثرات قارچ عامل بیماری نسبت داد، زیرا عملکرد بوته‌های غیر آلوده ارزیابی شد (Ganeva *et al.*, 2014).

پنج درصد با وجود داشت که بیانگر آن است که با افزایش درصد بیماری سیاهک پنهان (سخت)، میزان این صفات کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش مراد و همکاران (Mourad *et al.*, 2018b) در گندم، همبستگی منفی و معنی‌دار بین درصد بیماری با روز تا ظهور سنبله و همبستگی مثبت و غیرمعنی‌دار با ارتفاع بوته را نشان داد. در آزمایش

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زراعی ارقام جو تحت شرایط تنش بیماری

Table 5. Simple correlation coefficients between phenological, physiological and agronomic traits of barley varieties under disease stress conditions

Trait†	DGE	DTI	DST	DHE	TN	PHT	FLL	FLW	SHFLL	PL
DGE	1									
DTI	0.149	1								
DST	0.015	0.257**	1							
DHE	0.019	0.231**	0.280**	1						
TN	0.042	-0.066	-0.156	-0.067	1					
PHT	-0.027	0.007	-0.113	-0.093	0.078	1				
FLL	-0.038	0.011	-0.137	-0.068	0.206*	0.310**	1			
FLW	-0.097	0.018	-0.248**	0.137	0.175*	0.280**	0.545**	1		
SHFLL	0.000	-0.135	-0.020	-0.056	-0.051	0.565**	0.285**	0.140	1	
PL	-0.045	0.028	0.022	-0.007	0.047	0.485**	0.392**	0.201*	0.619**	1
SL	-0.095	-0.072	0.092	-0.100	0.022	0.503**	0.227**	0.037	0.624**	0.588**
NN	0.058	0.102	-0.016	0.143	0.016	0.225**	-0.024	0.109	-0.088	0.004
ID	-0.057	-0.022	-0.086	-0.202*	0.046	0.581**	0.231**	0.088	0.594**	0.644**
TGW	-0.063	-0.114	-0.023	-0.200*	0.019	0.048	0.142	0.078	0.138	0.085
GYLD	-0.236**	-0.096	0.013	-0.202*	0.112	0.073	0.176*	-0.041	0.085	0.062
BY	-0.217**	-0.157	-0.227**	-0.180*	0.343**	0.253**	0.451**	0.259**	0.142	0.212**
HI	-0.121	0.010	0.072	-0.131	-0.090	-0.035	-0.099	-0.188*	0.042	-0.020
DI	0.078	-0.050	-0.013	0.119	0.034	-0.217**	-0.107	-0.022	-0.355**	-0.272**
CT	-0.062	-0.153	-0.130	-0.288**	-0.085	-0.091	-0.160	-0.155	-0.081	-0.059
WSC	0.039	0.152	-0.155	0.069	-0.156	-0.079	0.137	0.120	-0.010	-0.012

Table 5. Continued

جدول ۵- ادامه

Trait†	SL	NN	ID	TGW	GYLD	BY	HI	DI	CT	WSC
SL	1									
NN	0.072	1								
ID	0.565**	-0.010	1							
TGW	0.097	-0.120	0.055	1						
GYLD	0.072	0.024	0.104	0.348**	1					
BY	0.167*	0.078	0.145	0.395**	0.576**	1				
HI	0.011	-0.036	0.082	0.151	0.736**	-0.032	1			
DI	-0.250**	0.046	-0.098	-0.129	-0.167*	-0.111	-0.135	1		
CT	0.045	-0.050	0.001	-0.163*	-0.173*	-0.159	-0.028	-0.050	1	
WSC	0.019	0.174*	-0.056	-0.256**	-0.028	-0.057	0.034	0.072	0.005	1

* and ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

† Traits abbreviations are including: DGE, days to germination; DTI, days to tillering; DST, days to stemming; DHE, days to heading; TN, tiller number per plant; PHT, plant height (cm); FLL, flag leaf length (cm); FLW, flag leaf width (cm); SHFLL, sheath flag leaf length (cm); PL, peduncle length (cm); SL, spike length (cm); NN, number of nodes; ID, internode distance (cm); TGW, thousand grain weight (g); GYLD, grain yield (g); BY, biological yield (g); HI, harvest index (%); DI, disease infection (%); CT, canopy temperature (°C); WSC, water soluble carbohydrate concentration (mg/g leaf fresh weight).

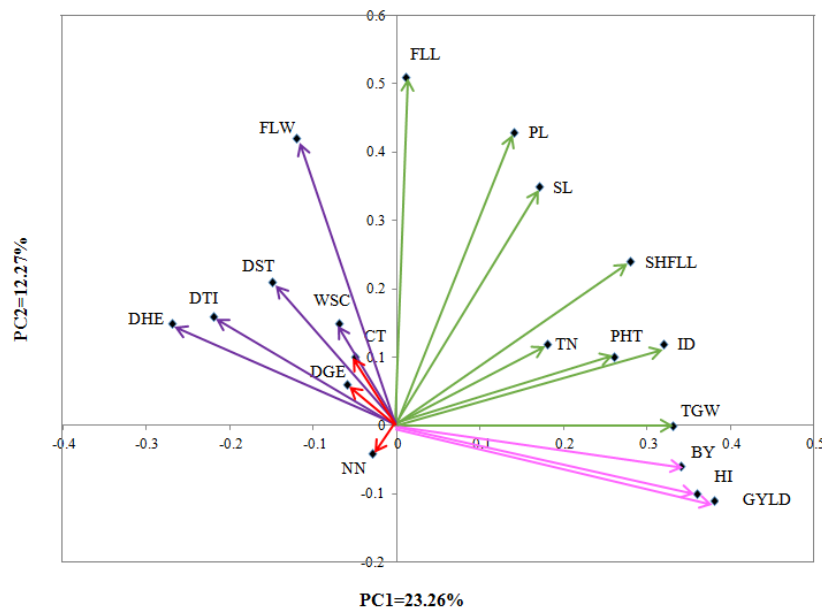
این مولفه به دلیل همبستگی بالا با تعداد گره، تحت عنوان مولفه تعداد گره نامگذاری شد و ۸/۸۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد. بیش‌ترین همبستگی صفات برای مولفه چهارم نیز برای صفات روز تا پنجه‌زنی، روز تا ساقه رفتن، روز تا ظهور سنبله و عملکرد دانه مشاهده شد. این مولفه ۸/۵۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و به‌عنوان مولفه فنولوژی در شرایط بدون تنش نام‌گذاری شد. ترسیم گرافیکی بای‌پلات بر اساس مولفه‌های اصلی اول و دوم تحت شرایط بدون بیماری نشان داد که صفات مربوط به معماری گیاه برای دو مولفه همبستگی مثبت و صفات مربوط به اجزای عملکرد برای مولفه اول همبستگی منفی و برای مولفه دوم همبستگی مثبت دارند (شکل ۱). صفات مربوط به فنولوژی با تاثیر زیاد و صفات مربوط به فیزیولوژی با تاثیر کم، دارای همبستگی مثبت با مولفه اول و منفی با مولفه دوم بودند، اما تعداد گره با هر دو مولفه دارای همبستگی منفی با تاثیر کم بود.

نتایج حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی برای ۲۰ صفت مورد ارزیابی در ۱۵۰ رقم جو تحت شرایط بدون تنش بیماری در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تعداد چهار مولفه اصلی مسأله شناسایی شد که در مجموع ۵۲/۶۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. مولفه اول با توجیه ۲۳ درصد از واریانس کل، به‌عنوان مولفه اجزای عملکرد دانه در شرایط نرمال نام‌گذاری شد و دارای بیش‌ترین همبستگی مثبت با صفات طول میانگره، طول غلاف برگ پرچم، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت و همبستگی منفی با روز تا پنجه‌زنی و روز تا ظهور سنبله بود. مولفه دوم با توجیه ۱۲/۲۷ درصد از تغییرات کل با صفات طول برگ پرچم، عرض برگ پرچم، طول پدانکل و طول سنبله اصلی بیش‌ترین همبستگی مثبت را داشت و به‌عنوان مولفه معماری گیاه نام‌گذاری شد. مولفه سوم با صفات روز تا جوانه‌زنی، تعداد گره و عرض برگ پرچم دارای بالاترین همبستگی مثبت بود و

جدول ۶- تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام جو تحت شرایط نرمال

Table 6. Principal component analysis for phenological, physiological and agronomic traits of barley varieties under normal conditions

Traits	PC1	PC2	PC3	PC4
Days to germination	-0.06	0.06	0.36	-0.06
Days to tillering	-0.22	0.16	-0.06	0.35
Days to stemming	-0.15	0.21	-0.17	0.44
Days to heading	-0.27	0.15	0.30	0.38
Tiller number per plant	0.18	0.12	0.15	0.07
Plant height (cm)	0.26	0.10	0.28	-0.21
Flag leaf length (cm)	0.01	0.51	0.11	-0.04
Flag leaf width (cm)	-0.12	0.42	0.32	-0.14
Sheath flag leaf length (cm)	0.28	0.24	-0.18	-0.18
Peduncle length (cm)	0.14	0.43	-0.11	-0.06
Spike length (cm)	0.17	0.35	-0.17	0.09
Number of nodes	-0.03	-0.04	0.41	0.17
Internode distance (cm)	0.32	0.12	-0.07	-0.19
Thousand grain weight (g)	0.33	0.00	-0.05	0.24
Grain yield (g)	0.38	-0.11	0.10	0.33
Biological yield (g)	0.34	-0.06	0.23	0.21
Harvest index (%)	0.36	-0.10	0.00	0.32
Disease infection (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
Canopy temperature (°C)	-0.05	0.10	-0.47	0.15
Water soluble carbohydrate concentration (mg/g LFW)	-0.07	0.15	-0.07	0.12
Eigen value	4.38	2.33	1.68	1.62
Variance percentage	23.06	12.27	8.85	8.52
Cumulative variance percentage	23.06	35.33	44.18	52.69



شکل ۱- نمودار بای پلات مولفه‌های اول و دوم برای صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زراعی ارقام جو تحت شرایط نرمال
 Figure 1. Biplot diagram of the first and second components for phenological, physiological and agronomic traits of barley varieties under normal conditions. DGE, days to germination; DTI, days to tillering; DST, days to stemming; DHE, days to heading; TN, tiller number per plant; PHT, plant height (cm); FLL, flag leaf length (cm); FLW, flag leaf width (cm); SHFLL, sheath flag leaf length (cm); PL, peduncle length (cm); SL, spike length (cm); NN, number of nodes; ID, internode distance (cm), TGW, thousand grain weight (g); GYLD, grain yield (g); BY, biological yield (g); HI, harvest index (%); DI, disease infection (%); CT, canopy temperature ($^{\circ}$ C); WSC, water soluble carbohydrate concentration (mg/g leaf fresh weight).

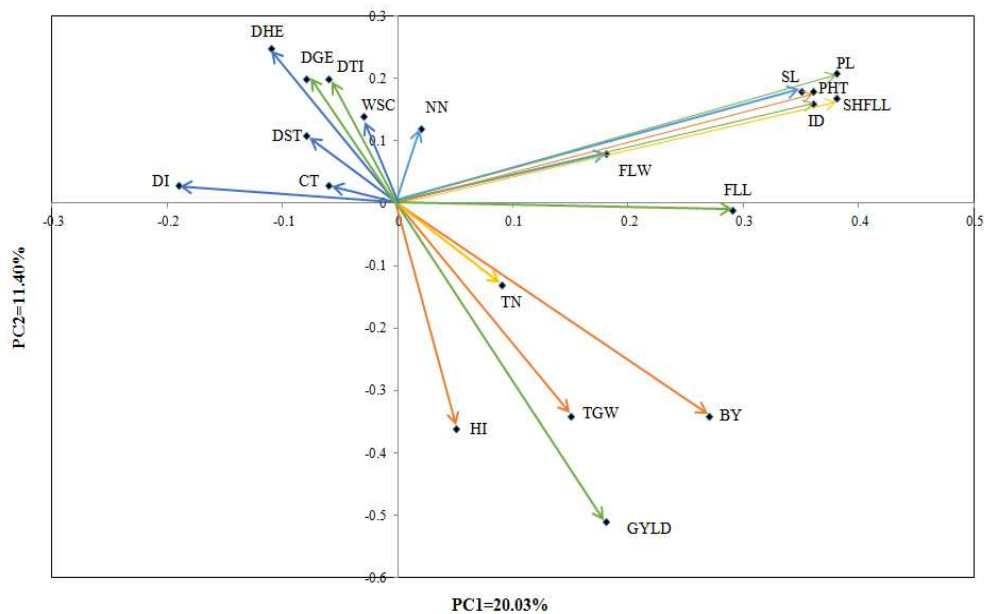
عنوان مؤلفه پوشش گیاهی در شرایط بیماری نام‌گذاری شد. مؤلفه چهارم با توجه ۸/۴۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها دارای همبستگی مثبت و بالا با صفات تعداد روز تا پنجه‌زنی، تعداد روز تا ساقه رفتن و تعداد روز تا ظهور سنبله بود و به‌عنوان مؤلفه فنولوژی نام‌گذاری شد. مؤلفه پنجم بیش‌تر تحت تأثیر کربوهیدرات‌های محلول در برگ قرار گرفت و با توجه ۶/۸۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها در شرایط بیماری، به‌عنوان مؤلفه فیزیولوژی نامیده شد. نمودار بای‌پلات حاصل از مؤلفه‌های اصلی اول و دوم (شکل ۲)، نشان داد که صفات مربوط به مورفولوژی با بیش‌ترین کشیدگی برداری، دارای همبستگی مثبت و بالایی با هر دو مؤلفه هستند. صفات مرتبط با عملکرد بردار بلند، همبستگی منفی با مؤلفه اول و همبستگی مثبت و بالایی با مؤلفه دوم دارند و در نهایت صفات مربوط به فنولوژی، فیزیولوژی و درصد بیماری نیز دارای همبستگی مثبت با مؤلفه اول و همبستگی منفی با مؤلفه دوم هستند.

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس ۲۰ صفت مورد مطالعه در ۱۵۰ رقم جو تحت شرایط تنش بیماری سیاهک پنهان (سخت)، تعداد پنج مؤلفه اصلی شناسایی کرد که در مجموع ۵۶/۶۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (جدول ۷). این مؤلفه ۲۰/۰۳ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه کرد و با صفات ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله، طول میانگره و عملکرد زیستی همبستگی بالایی داشت و به‌عنوان مؤلفه مورفولوژی در شرایط بیماری نام‌گذاری شد. مؤلفه دوم با توجه ۱۱/۴۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها، همبستگی منفی و بالایی با صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت داشت و به‌عنوان مؤلفه عملکرد نام‌گذاری شد. مؤلفه سوم، ۹/۹۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی با صفات طول و عرض برگ پرچم، تعداد پنجه در بوته و عملکرد زیستی و همبستگی منفی بالایی با شاخص برداشت داشت و تحت

جدول ۷- تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام جو تحت شرایط تنش بیماری

Table 7. Principal component analysis for phenological, physiological and agronomic traits of barley varieties under disease stress conditions

Traits	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Days to germination	-0.08	0.20	0.03	0.01	-0.11
Days to tillering	-0.06	0.20	0.02	0.43	0.05
Days to stemming	-0.08	0.11	-0.27	0.42	-0.29
Days to heading	-0.11	0.25	0.14	0.43	-0.13
Tiller number per plant	0.09	-0.13	0.31	-0.10	-0.21
Plant height (cm)	0.36	0.18	0.01	0.00	0.04
Flag leaf length (cm)	0.29	-0.01	0.36	0.05	0.02
Flag leaf width (cm)	0.18	0.08	0.48	0.04	0.05
Sheath flag leaf length (cm)	0.38	0.17	-0.19	-0.01	-0.05
Peduncle length (cm)	0.38	0.21	-0.09	0.05	-0.05
Spike length (cm)	0.35	0.18	-0.21	-0.02	0.02
Number of nodes	0.02	0.12	0.16	0.19	0.35
Internode distance (cm)	0.36	0.16	-0.18	-0.08	0.04
Thousand grain weight (g)	0.15	-0.34	-0.01	0.06	-0.32
Grain yield (g)	0.18	-0.51	-0.09	0.28	0.19
Biological yield (g)	0.27	-0.34	0.29	0.02	-0.04
Harvest index (%)	0.05	-0.36	-0.32	0.28	0.32
Disease infection (%)	-0.19	0.03	0.20	-0.05	0.00
Canopy temperature (°C)	-0.06	0.03	-0.20	-0.47	0.24
Water soluble carbohydrate concentration (mg/g LFW)	-0.03	0.14	0.14	0.10	0.63
Eigen value	4.01	2.28	1.98	1.70	1.36
Variance percentage	20.03	11.40	9.91	8.49	6.81
Cumulative variance percentage	20.03	31.43	41.34	49.83	56.64



شکل ۲- نمودار بای پلات مولفه‌های اول و دوم برای صفات فنولوژیک، فیزیولوژیک و زارعی ارقام جو تحت شرایط تنش بیماری

Figure 2. Biplot diagram of the first and second components for phenological, physiological and agronomic traits of barley varieties under disease stress conditions. DGE, days to germination; DTI, days to tillering; DST, days to stemming; DHE, days to heading; TN, tiller number per plant; PHT, plant height (cm); FLL, flag leaf length (cm); FLW, flag leaf width (cm); SHFLL, sheath flag leaf length (cm); PL, peduncle length (cm); SL, spike length (cm); NN, number of nodes; ID, internode distance (cm); TGW, thousand grain weight (g); GYLD, grain yield (g); BY, biological yield (g); HI, harvest index (%); DI, disease infection (%); CT, canopy temperature (°C); WSC, water soluble carbohydrate concentration (mg/g leaf fresh weight).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع ژنتیکی قابل توجه و زیادی بین ارقام مورد بررسی وجود داشت که نشان دهنده واکنش متفاوت ارقام جو مورد مطالعه تحت شرایط بیماری و عدم بیماری بود. آلودگی به بیماری سیاهک پنهان یا سخت باعث افزایش زمان روز تا ساقه رفتن، اما کاهش زمان روز تا سنبله رفتن ارقام جو شد. همچنین، آلودگی به بیماری، تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته، طول برگ پرچم، طول غلاف برگ پرچم، طول پدانکل، طول سنبله، عملکرد زیستی، وزن هزار دانه، عملکرد شاخص برداشت، کربوهیدرات محلول در برگ را کاهش و دمای پوشش گیاهی را افزایش داد. با توجه به اینکه تأثیر مشهود بیماری سیاهک پنهان یا سخت روی صفات مربوط به سنبله و در مرحله رسیدگی دانه است، در عمل تمایز زود هنگام ارقام مقاوم از حساس در سایر مراحل رشدی و نیز بر اساس سایر صفات مورد بررسی دشوار است و شناسایی و انتخاب ارقام مقاوم به این بیماری، نیازمند انتظار تا پایان فصل زراعی است.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تأیید 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

- Ali, S., Laurie, J.D., Linning, R., Cervanteschavez, J.A. and Gaudet, D. 2014. An immunity triggering effector from the barley smut fungus *Ustilago hordei* resides in an Ustilaginaceae-specific cluster bearing signs of transposable element assisted evolution. *PLoS Pathogens*, 10(7), e1004223. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004223>.
- Dadrezaei, S.T. and Tabatabaei, S.N. 2021. Investigation on resistance to scald and covered smut among the selected genotypes of barley under field conditions in Khuzestan, Iran. *Applied Entomology and Phytopathology*, 88(2), pp. 241-250. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/jaep.2020.341486.1322>.
- Dumalasoova, V., Leona Svobodova, L.L. and Bartos, P. 2014. Common bunt resistance of Czech and European winter wheat cultivars and breeder lines. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 50(3), pp. 201-207. <https://doi.org/10.17221/241/2013-CJGPB>.
- Emara, Y.A. and Freake, G.W. 1981. Effect of environment and genotype and their interaction on pathogenicity of *Ustilago hordei*: I. Parasite-environment effects. *Journal of Heredity*, 72(4), pp. 261-263. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a109492>.
- Fischer, G.W. and Holton, C.S. 1957. *Biology and Control of the Smut Fungi*. The Ronald Press Company, New York, USA. 622 p.
- Ganeva, G., Landjeva, S., Belchev, I. and Koleva, L. 2014. Characterization of two wheat doubled haploid populations for resistance to common bunt and its association with agronomic traits. *Cereal Research Communications*, 42(3), pp. 484-494. <https://doi.org/10.1556/CRC.42.2014.3.11>.
- Gangwar, O.P., Bhardwaj, S.C., Singh, G.P., Prasad, P. and Kumar, S. 2018. Barley disease and their management: An Indian perspective. *Wheat and Barley Research*, 10(3), pp. 138-150. <https://doi.org/10.25174/2249-4065/2018/83844>.
- Goates, B J. 1996. Common bunt and dwarf bunt. In: Wilcoxson, R.D. and Saari, E.E. (Eds.). *Bunt and Smut Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management*. CIMMYT, Mexico. pp. 12-25.

- Grewal, T.S., Rossnagel, B.G. and Scoles, G.J. 2006.** Inheritance of resistance to covered smut [*Ustilago hordei* (Pers.) Lagerh.] in barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), pp. 829-837. <https://doi.org/10.4141/P04-196>.
- Grewal, T.S., Rossnagel, B.G., Bakkeren, G. and Scoles, G.J. 2008.** Identification of resistance genes to barley covered smut and mapping of the *Ruh1* gene using *Ustilago hordei* strains with defined avirulence genes. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 30(2), pp. 277-284. <https://doi.org/10.1080/07060661.2008.10540543>.
- Kaur, A., Sharma, V.K., Rani, R. and Mohan, C. 2014.** Management of covered smut of barley through cultural, chemical and biological methods. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 44(4), pp. 432-437.
- Mathre, D.E. 1997.** Compendium of Barley Diseases. 2nd Edition. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 78 p.
- Mourad, A.M.I., Mahdy, E., Bakheit, B.R., Elwafaa, A.A. and Baenziger, P.S. 2018a.** Effect of common bunt infection on agronomic traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Genetics and Breeding*, 2(1), 102.
- Mourad, A.M.I., Sallam, A., Belamkar, V., Mahdy, E., Bakheit, B., El-Wafaa, A.A. and Baenziger, P.S. 2018b.** Genetic architecture of common bunt resistance in winter wheat using genome wide association study. *BMC Plant Biology*, 18, 280. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1435-x>.
- Ökmen, B., Mathow, D., Hof, A., Lahrmann, U., Abmann, D.A. and Doehlemann, G. 2018.** Mining the effector repertoire of the biotrophic fungal pathogen *Ustilago hordei* during host and non-host infection. *Molecular Plant Pathology*, 19(12), pp. 2603-2622. <https://doi.org/10.1111/mp.12732>.
- Salari, M., Sharifi Tehrani, A., Okhovat, M. and Zad, J. 1993.** Evaluation of some fungicides on *Ustilago hordei*. Proceedings of the 11th Iranian Plant Protection Congress. Aug. 28-Sep. 2, 1993, Rasht, Iran. [In Persian].
- Sidhu, G. and Person, C. 1971.** Genetic control of virulence in *Ustilago hordei*. II. Segregation for higher levels of virulence. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, 13(2), pp.173-178.
- Sidhu, G. and Person, C. 1972.** Genetic control of virulence in *Ustilago hordei*. III. Identification of genes for host resistance and demonstration of a gene-for-gene relationship. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, 14(2), pp. 209-213.
- Singh, J., Kaur, A. and Sharma, V.K. 2020.** Evaluation of barley genotypes for resistance against covered smut disease. *Indian Phytopathology*, 73, pp. 359-360. <https://doi.org/10.1007/s42360-020-00231-0>.
- Singh, J., Sharma, V.K., Kaur, A. and Sharma, S. 2021.** Differential biochemical response in resistant and susceptible barley (*Hordeum vulgare*) cultivars upon covered smut (*Ustilago hordei*) infection. *Indian Phytopathology*, 74, pp. 173-179. <https://doi.org/10.1007/s42360-021-00326-2>.
- Singh, R.S. 2018.** Plant Diseases. Oxford and IBH Press. New Delhi, India. 700 p.
- Schlegel, H.G. 1956.** Die verwertung orgngischer säuren durch chlorella im licht. *Planta*, 47, pp. 510-526. <https://doi.org/10.1007/BF01935418>.
- Thomas, P.L. and Menzies, J.G. 1997.** Cereal smuts in Manitoba and Saskatchewan, 1989–95. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 19(2), pp. 161-165. <https://doi.org/10.1080/07060669709500546>.
- Wunderle, J., Leclercque, A., Schaffrath, U., Slusarenko, A. and Koch, E. 2012.** Assessment of the loose smut fungi (*Ustilago nuda* and *U. tritici*) in tissues of barley and wheat by fluorescence microscopy and real-time PCR. *European Journal of Plant Pathology*, 133, pp. 865-875. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0010-9>.
- Zuo, W., Ökmen, B., Depotter, J.R.L., Ebert, M.K., Redkar, A., Villamil, J.M. and Doehlemann, G. 2019.** Molecular Interactions Between Smut Fungi and Their Host Plants. *Annual Review of Phytopathology*, 57, pp.411-430. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100139>.