University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 13, No. 4, Winter 2024 (385-400)
doi: 10.22124/CR.2024.26130.1799
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Identification of virulence/avirulence spectrum of *Blumeria graminis* f.sp *hordei*, the causal agent of barley powdery mildew in different regions of Iran

Reza Aghnoum[1*], Mohammad Ali Dehghan[2], Mohsen Yasaei [3], Hesam Mofidi[4], Kamal Shahbazi[5], Mohammad Dalvand[6] and Hamid Reza Nikkhah[1]

1. Research Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
([*] Corresponding author: r.aghnoum@areeo.ac.ir)
2. Research Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
3. Research Assistant Professor, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
4. Research Instructor, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran
5. Research Assistant Professor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
6. Research Assistant Professor, Safiabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Powdery mildew of barley is one of the most important diseases of barley worldwide that occur also in most of the barley cultivation areas in Iran. The use of resistant cultivar is known as the most effective, the most economic and the most environmentally safe method of disease control. Due to the high level of genetic diversity, the fungal pathogen have a big capacity for producing new physiological races and breaking down of effective sources of resistance. This study was carried out to determine the virulence/avirulence spectrum of the pathogen in major powdery mildew conductive regions, to monitor their annual changes in recent years and to evaluate the resistance of some Iranian commercial cultivars irrigated barley to powdery mildew.

Materials and methods

Trap nurseries consisting 77 lines and cultivars including 19 Pallas near-isogenic lines, a supplementary set including 34 cultivars carrying known or unknown resistance gene (s) along with 24 Iranian commercial barley cultivars were planted under natural disease development conditions at six powdery mildew hot spot locations in Mashhad, Gorgan, Ghaemshahr, Pars Abad (Moghan), Dezful and Zarghan during three consecutive cropping seasons (2016-2019). Evaluation of the reaction of studied barley cultivars and lines to powdery mildew was performed in 00-99 scroing scale based on the double digit system at the flowering stage. The virulence/avirulence spectrum of the pathogen in different regions was determined by considering the infection types 1-4 as incompatibile reaction (resistance) or avirulence and the infection types 5-9 as compatibile reaction (susceptibility) or virulence.

Research findings

The results of this study showed that there is a significant variation in the virulence spectrum of the pathogen in different locations of Iran, occurrence of changes in their virulence/avirulence spectrum,

and appearing new virulence factores for some plants carrying resistance genes. Based on the results, *Mlk* and *Mlk(1)* resistance genes were ineffective in all locations during all three years, and *Mlh*, *Mla22* and *Mla23* resistance genes were also ineffective in all three years at least in two locations. The results also showed that the *mlo* resistance gene was effective in all locations, and *Mla3, Mla6, Mla9, Mla13*, *Ml(Ru3)*, *Mla12* and *Mla14* genes were effective at least in three locations during all three years. Based on the results, new virulence factors for *MlLa*, *Mlg* and *MlCP* genes appeared in some regions. Evaluation of the supplementary set in different regions of Iran showed that all cultivars/lines carrying one of the alleles of the *mlo* resistance gene including Viskosa, Wren, Alexis, Brenda and Chalice were effective in all locations/years. Also, the majority of commercial cultivars showed a range of reaction from moderately resistant to susceptible in different locations.

Conclusion

Based on the high level of variation in the virulence spectrum of the pathogen in different locations and appearing new virulence factores for some effective resistance genes, as well as the susceptible or semi-susceptible reaction of most commercial cultivars, continuous research to monitor the virulence spectrum of the pathogen population and identify new genetic sources of disease resistance is necessary. Also, genetic resources with the effective resistance genes including *Mla3, Mla6, Mla9*, Mla13, *Ml(Ru3), Mla12* and *Mla14* can be used as resistant parents to develop new resistant cultivars in breeding programs.

Keywords: Isogenic lines, Pathogenicity factors, Resistance genes

Received: September 7, 2023 Accepted: December 11, 2024

Cite this article:

Aghnoum, R., Dehghan, M. A., Yasaei, M., Mofidi, H., Shahbazi, K., Dalvand, M., & Nikkhah, H. R. (2024). Identification of virulence/avirulence spectrum of *Blumeria graminis* f.sp *hordei*, the causal agent of barley powdery mildew in different regions of Iran. *Cereal Research*, *13*(4), 385-400. doi: 10.22124/CR.2024.26130.1799

تحقیقات غلات
دوره سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲ (۴۰۰-۳۸۵)
doi: 10.22124/CR.2024.26130.1799

مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

شناسایی طیف عامل‌های پرآزاری/ناپرآزاری در جمعیت‌های قارچ *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف ایران

رضا اقنوم[1*]، محمدعلی دهقان[2]، محسن یاسایی[3]، حسام مفیدی[4]، کمال شهبازی[5]، محمد دالوند[6] و حمیدرضا نیکخواه[1]

۱- دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران (* نویسنده مسئول: r.aghnoum@areeo.ac.ir)
۲- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۴- مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۵- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۶- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران

چکیده جامع

مقدمه: بیماری سفیدک پودری با عامل قارچی *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* یکی از مهم‌ترین بیماری های بر گی جو با پراکنش جهانی است که در اغلب مناطق کشت جو در ایران ن یز شیوع دارد. اسـتفاده از رقم‌هـای مقـاوم بـه‌عنوان مـوثرترین، کم‌هزینه‌ترین و سالم‌ترین روش کنترل این بیماری از نظر زیست‌محیطی شناخته می‌شود. به‌علت تنوع ژنتیکی بالا، قارچ عا مل بیماری از توانایی زیادی برای ایجاد نژادهای فیزیولوژیک جدید و بی‌ا ثر کردن ژن های مقاو مت بر خوردار ا ست. ا ین مطال عه به‌منظور شناسایی طیف عامل‌های پرآزاری/ناپرآزاری در جمعیت‌های قارچ عامل بیماری سفیدک پودری جو در م ناطق م هم شیوع این بیماری در ایران، پایش تغییرات این عامل‌ها در سال‌های اخیر و بررسی وضعیت مقاومت ت عدادی از رقم های ت جاری داخلی (ایرانی) جو آبی به سفیدک پودری انجام شد.

مواد و روش‌ها: خزانه‌های تله متشکل از ۷۷ لاین و رقم، شامل رقم پالاس و ۱۸ لا ین ا یزوژن نزد یک با ژن (های) مقاو مت مشخص در زمینه ژنتیکی پالاس، یک‌سری تکمیلی شامل ۳۴ رقم با ژن (های) مقاو مت م شخص و یا نام شخص، به‌همراه ۲۴ رقم تجاری داخلی در شرایط آلودگی طبیعی در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی شامل مشهد، قائمشهر، گرگان، زر قان، پارس آباد (مغان) و دزفول طی سه سال زراعی (۹۸-۱۳۹۵) کشت شدند. ارزیابی واکنش ارقام و لاین‌های جو مورد برر سی ن سبت به سفیدک پودری در مرحله گلدهی به‌روش دو عددی (Double digit) در مقیاس صفر تا ۹۹ انجام شد. با در نظر گـرفتن ت یپ

آلودگی یک تا چهار به‌عنوان واکنش ناسازگاری (مقاومت) و ناپرآزاری (Avirulence) و تیپ های آ لودگی پنج تا نه به‌عنوان واکنش سازگاری (حساسیت) و پرآزاری (Virulence)، طیف پرآزاری/ناپرآزاری جمعیت بیمارگر در مناطق مختلف تعیین شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج این تحقیق، وجود تنوع ژنتیکی قابل ملاح ظه‌ای را در جمع یت های مح لی ا ین بی مارگر در م ناطق مختلف کشور و بروز تغییراتی در طیف پرآزاری/ناپرآزاری آن‌ها و ظهور فاکتورهای پرآزاری جدید برای بر خی از گیا هان حا مل ژن‌های مقاومت نشان داد. ژن‌های مقاو مت *Mlk* و *Mlk(1)* طی هـر سه سال زرا عی و در ه مه م ناطق و ژن های مقاو مت *Mla22*، *Mla23* و *Mlh* طی هر سه سال زراعی حداقل در دو منطقه از کشور، غیرموثر بود ند. همچ نین، ژن مقاو مت *mlo5* در همه مناطق اجرای آزمایش و ژن‌های مقاومت *Mla3*، *Mla6*، *Mla9*، *Mla12*، *Mla13*، *Mla14* و *Ml(Ru3)* طی هر سه سال زراعی حداقل در سه منطقه موثر بودند. نتایج این مطالعه، ظهور فاکتورهای پـرآزاری جدیـد بـرای ژن‌هـای مقاومـت *Mla*، *Mlg* و *MlCP* را در برخی از مناطق کشور نشان داد. نتایج ارزیابی سـری تکمیلـی در منـاطق مختلـف کشـور نیـز مـوثر بـودن مقاومت کلیه رقم‌های دارای یکی از آلل‌های ژن مقاومت *mlo* از جملـه Viskosa، Wren، Alexis، Brenda و Chalice را در همه مناطق مورد مطالعه نشان داد. همچنین، اغلب رقم‌های تجاری داخ لی طی فی از واکنش ها از نی مه‌مقاوم تا ح ساس را در مناطق مختلف نشان دادند.

نتیجه‌گیری: با توجه به تنوع قابل ملاحظه در جمعیت‌های محلی عامل بیماری سفیدک پودری جو در م ناطق مخت لف ک شور و ظهور فاکتورهای پرآزاری جدید برای برخی از ژن‌های مقاومت موثر و همچنین ح ساس یا نیمه‌ح ساس بودن اغ لب رقم ها، تداوم تحقیقات مرتبط با پایش طیف فاکتورهای پرآزاری در جمع یت بی مارگر و شنا سایی م نابع ژنتی کی جد ید مقاو مت به بیماری ضروری است. همچ نین، با تو جه به موثر بودن ژن های مقاو مت *mlo*، *Mla3*، *Mla6*، *Mla9*، *Mla12*، *Mla13*، *Mla14* و *Ml(Ru3)* در مناطق مختلف کشور، منابع ژنتیکی دارای این ژن‌های مقاومت می‌تواننـد بـه‌عنوان والـد مقـاوم جهـت تهیه رقم‌های مقاوم جدید در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: ژن‌های مقاومت، عامل‌های بیماری‌زایی، لاین ایزوژن

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

نحوه استناد به این مقاله:

اقنوم، رضا، دهقان، محمدعلی، یاسایی، محسن، مفیدی، حسام، شهبازی، کمال، دالوند، محمد، و نیکخواه، حمیدرضا. (۱۴۰۲). شناسایی طیف عامل‌های پرآزاری/ناپرآزاری در جمعیت‌های قارچ *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف ایران. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۴)، ۴۰۰-۳۸۵. doi: 10.22124/CR.2024.26130.1799

مقدمه

سفیدک حقیقی یا سفیدک پودری (Powdery mildew) یکی از بیماری‌های برگی مهم جو با پراکنش گسترده در دنیا است. این بیماری می‌تواند تمام اندام‌های هوایی گیاه از جمله برگ‌ها، غلاف برگ‌ها، ساقه، پوشینه‌ها و حتی ریشک‌ها را آلوده کند. خسارت این بیماری به‌طور متوسط پنج تا ده درصد است، ولی در شرایط آلودگی شدید خسارت بیماری می‌تواند تا ۳۰ درصد محصول نیز برسد (Rsaliyev *et al*., 2017; Czembor & Czembor, 2021). این بیماری اولین بار روی جو در سال ۱۳۲۶ توسط اسفندیاری گزارش شد و در حال حاضر در تمام مناطق کشت این محصول در کشور شیوع دارد (Behdad, 2006; Ershad, 2009). در گیاهان بیمار سطح فتوسنتزکننده کاهش و میزان تنفس و تعرق گیاه افزایش می‌یابد. آلودگی به این بیماری باعث کاهش رشد، قدرت پنجه‌زنی، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه می شود (Radchenko *et al*., 2020). در ارقامی که جهت تولید مالت کشت می‌شوند، آلودگی به بیماری علاوه بر کاهش میزان محصول، باعث کاهش کیفیت مالت نیز می‌شود (Czembor & Czembor, 2000). سفیدک پودری گندمیان به‌وسیله قارچ *Blumeria graminis* (DC) Speer ایجاد می‌شود. این قارچ، انگل اجباری است و بر اساس تخصص‌یافتگی شدید دامنه میزبانی، به هشت فرم ویژه (Formae specials) طبقه‌بندی می‌شود. فرم ویژه جو *Blumeria graminis* (DC) Golovin ex Speer f. sp. *hordei* Em. Marchal ، به گیاهان جنس *Hordeum* از جمله جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) و جو وحشی (*H. spontsneum*) حمله می‌کند، ولی قادر به آلودگی سایر گونه‌های زراعی و وحشی خانواده گندمیان نیست (Wyand & Brown, 2003).

هر چند برای کنترل این بیماری در دهه‌های گذشته از قارچ‌کش‌های شیمیایی استفاده شده است، اما به‌علت مسایلی از جمله هزینه بالا و خطرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف ترکیبات شیمیایی و همچنین پیدایش نژادهای جدید بیمارگر که به قارچ‌کش‌های متداول مقاومت نشان داده‌اند، استفاده از قارچ‌کش‌ها در کنترل این بیماری در سال‌های اخیر کاهش پیدا کرده است (Czembor, 2001; Opalski *et al*., 2006; Brent & Hollomon, 2007). علاوه بر این، استفاده از ارقام مقاوم به بیماری به‌علت صرفه اقتصادی، سلامت محیط زیست و اثربخشی بالا، به‌عنوان روش جایگزین کنترل شیمیایی بسیار موفق عمل کرده است (Ames *et al*., 2015). قارچ عامل بیماری سفیدک پودری به‌علت ویژگی‌هایی از جمله تولید تعداد زیادی اسپور غیرجنسی هاپلوئید، نوترکیبی جنسی و قابلیت پراکنش اسپورها در مسافت‌های طولانی به‌وسیله جریان باد دارای تنوع ژنتیکی زیادی است و بنابراین توانایی زیادی برای تکامل سریع و ایجاد نژادهای فیزیولوژیک جدید دارد که می‌تواند باعث بی‌اثر شدن ژن‌های مقاومت شود (McDonald & Linde, 2002).

تا کنون تحقیقات وسیعی در زمینه شناسایی ژن‌های مقاومت به سفیدک پودری جو انجام شده و چندین ژن مقاومت کامل (Resistance gene) از نوع اختصاصی نژاد (Race-specific resistance genes) به‌طور گسترده در برنامه‌های به‌نژادی جو به‌ویژه در کشورهای اروپایی مورد استفاده قرار گرفته است (Jørgensen, 1992, Jørgensen & Wolfe, 1994). در عین حال، به‌علت تنوع بالا در ترکیب جمعیتی قارچ عامل بیماری به‌ویژه از نظر ظهور عامل‌های پرآزاری جدید برای ژن‌های مقاومت معرفی شده، معمولاً مقاومت ارقام جدید بعد از چند سال بی‌اثر می‌شود، پدیده‌ای که در اصطلاح به آن شکسته شدن مقاومت می‌گویند (Czembor, 2000). بنابراین، با توجه به موقتی بودن اثر ژن‌های مقاومت، تلاش برای شناسایی منابع مقاومت جدید و پایش عامل‌های پرآزاری در جمعیت قارچ عامل بیماری در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام مقاوم جدید از اهمیت خاصی برخوردار است.

نتایج بررسی عامل‌های پرآزاری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف کشور طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ نشان داد که پرآزاری برای ژن مقاومت *Mlk* دارای بیش‌ترین پراکنش و برای ژن مقاومت *Mla17* دارای کم‌ترین فراوانی است (Patpour *et al*., 2003, 2005). همچنین، نتایج این بررسی نشان داد که ژن‌های مقاومت *Mlp*، *mlo*، *Mla3*، *Mla6*، *Mla13*، *Mla16*، *Mla7+MlAb*، *Mlg+MlCP* و *Mla19* در تمام مناطق مورد مطالعه موثر بوده است. نتایج مطالعات انجام شده در چند سال اخیر نیز نشان داده است که ژن‌های مقاومت *Mla6*، *Mla7*، *Mla12*، *Mla13*، *Mla14*، *Ml(Ru3)*، *Ml(Em2)*، *Ml(No3)* و *mlo* در مناطق جنوبی کشور شامل دزفول، اهواز و زرقان فارس، موثر و ژن‌های مقاومت *Mlk*، *Mlh*، *MlLa* و *Mlp* در این مناطق غیرموثر بوده‌اند

(Aghnoum *et al*., 2019). نتایج مطالعات شناسایی عامل‌های پرآزاری سفیدک پودری جو در مناطق شمال و شمال شرق کشور شامل گرگان، قائمشهر، کرج و مشهد نیز وجود تنوع در طیف عامل‌های پرآزاری/ناپرآزاری در جمعیت‌های محلی سفیدک پودری را در این مناطق نشان داده است، به‌طوری که پرآزاری برای ژن‌های مقاومت *Mla22*، *Mlh*، *MlLa*، *Mlat*، *Mlp*، *Mlk(1)* و *Mlk* دارای بیش‌ترین فراوانی در این مناطق بوده و به‌عنوان ژن‌های مقاومت غیرموثر گزارش شدند و ژن‌های مقاومت *Mla13*، *Mla12*، *Mla10*، *Mla9*، *Mla7*، *Ml(No3)*، *mlo5*، *Ml(Ru3)*، *Ml(Du2)* و *Ml(Em2)* نیز به‌عنوان منابع مقاومت موثر شناسایی شدند (Aghnoum *et al*., 2021). همچنین، نتایج این بررسی نشان داد که پرآزاری برای ژن مقاومت *Mlp* که قبلاً در اغلب مناطق کشور موثر بوده است، در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر مشاهده شده است. علاوه بر این، ظهور فاکتورهای پرآزاری جدید برای ژن مقاومت *MlLa* در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر، برای ژن‌های مقاومت *Mlg* و *MlCP* در مشهد و گرگان و برای ژن مقاومت *Mla3* در مشهد گزارش شده است (Aghnoum *et al*., 2021). نتایج بررسی عامل‌های پرآزاری سفیدک پودری جو در استان فارس نیز نشان داد که در این منطقه ژن‌های مقاومت *Mla23* و *Mla3* غیرموثر و ژن‌های مقاومت *Mla22* و *Mla6 + Mla14* موثر بودند (Maramat *et al*., 2013). همچنین، نتایج بررسی عامل‌های پرآزاری بیماری سفیدک پودری جو طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ در برخی از مناطق ایران نشان داد که ژن‌های مقاومت *MLa9*، *MLa13* و *ML(Ru3)* از منابع مقاومت موثر نسبت به این بیماری در ایران هستند (Bihamta *et al*., 2012).

با توجه به اهمیت بیماری سفیدک پودری در مناطق مختلف کشور و نقش استفاده از ارقام مقاوم به‌عنوان روش جایگزین استفاده از ترکیب‌های شیمیایی در کنترل این بیماری، اصلاح برای مقاومت به سفیدک پودری یکی از اولویت‌های اصلی برنامه ملی به‌نژادی جو آبی کشور می‌باشد. با توجه به اینکه وجود اطلاعات دقیق در مورد تنوع ژنتیکی در جمعیت عامل بیماری در مناطق مختلف، پیش‌نیاز طراحی و هدایت یک برنامه به‌نژادی موفق به‌منظور تولید رقم‌های مقاوم به بیماری است، از این‌رو تحقیق حاضر اجرا شد که هدف از آن، شناسایی طیف عامل‌های پرآزاری/ناپرآزاری جمعیت‌های محلی بیمارگر سفیدک پودری در مناطق مختلف کشور بود. ارزیابی تعدادی از رقم‌های خارجی با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص و یا نامشخص به‌منظور شناسایی منابع مقاومت جدید و همچنین ارزیابی واکنش تعدادی از ژنوتیپ‌ها و رقم‌های تجاری جو داخلی به این بیماری از اهداف دیگر این تحقیق بودند.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی

خزانه‌های تله (Trap nurseries) مورد استفاده در این تحقیق متشکل از ۷۷ لاین و رقم، شامل رقم پالاس و ۱۸ لاین ایزوژن نزدیک (Near isogenic lines) با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص در زمینه ژنتیکی رقم پالاس (Kølster *et al*., 1986)، یک سری تکمیلی شامل ۳۴ رقم با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص و یا نامشخص به‌عنوان منابع مقاومت به بیماری سفیدک پودری (Hovmøller *et al*., 2000)، به‌همراه ۲۴ رقم تجاری داخلی بود. بذر لاین‌های ایزوژن و سری تکمیلی از گروه اصلاح نباتات دانشگاه واخنینگن هلند و بذر رقم‌های تجاری و لاین‌های امیدبخش داخلی از بخش تحقیقات غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) دریافت شد. اطلاعات مربوط به مواد ژنتیکی مورد استفاده در این تحقیق در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است.

روش ارزیابی مقاومت به بیماری

خزانه‌های تله بیماری سفیدک پودری جو در هفت منطقه شامل ایستگاه‌های تحقیقاتی طرق (مشهد) و نیشابور (استان خراسان رضوی)، عراقی محله (گرگان، استان گلستان)، بایع‌کلا (قائمشهر، استان مازندران)، زرقان (استان فارس)، پارس‌آباد (دشت مغان، استان اردبیل) و صفی‌آباد (استان خوزستان، دزفول) طی سه سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۵) کشت شد. حدود ۱۰ گرم از بذر هر لاین یا رقم در مزرعه تحقیقاتی در دو خط یک متری روی یک پشته کشت شدند. رقم افضل به‌عنوان شاهد حساس به بیماری بعد از هر ۲۰ شماره از مواد آزمایشی و نیز در حاشیه خزانه‌ها به‌عنوان منتشر کننده (Spreader) بیماری کشت شد. عملیات و مراقبت‌های

زراعی طبق دستورالعمل ایستگاه‌های تحقیقاتی انجام شد. ارزیابی واکنش رقم‌ها و لاین‌های مورد بررسی نسبت به سفیدک پودری در مرحله گلدهی همزمان با گسترش کامل آلودگی روی رقم افضل (شاهد حساس) به روش دو عددی (Double digit system) پیشنهاد شده توسط ایال و همکاران (Eyal *et al*., 1987) در مقیاس 99-00 انجام شد. در این روش، عدد اول نشان دهنده میزان پیشرفت عمودی بیماری از برگ‌های پایین به برگ‌های بالای گیاه در مقیاس ساری و پرسکات (Saari & Prescott, 1975) و عدد دوم نشان دهنده میزان شدت بیماری (درصد آلودگی سطح برگ به کلونی قارچ) است. در این روش، تیپ‌های آلودگی یک تا چهار به‌عنوان واکنش ناسازگاری (مقاومت) و ناپرآزاری (عدم وجود ویرولانس) و تیپ‌های آلودگی پنج تا نه به‌عنوان واکنش سازگاری (حساسیت) و پرآزاری (وجود ویرولانس) در نظر گرفته می‌شود. به هر حال، با توجه به واکنش رقم‌ها و لاین‌های جو مورد مطالعه، طیف پرآزاری/ ناپرآزاری (Virulence/avirulence) جمعیت بیمارگر در مناطق مختلف تعیین شد.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی، سری تکمیلی منابع مقاومت و ارقام تجاری داخلی در مناطق مختلف کشور نسبت به بیماری سفیدک پودری به‌ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ایستگاه‌های تحقیقاتی طرق (مشهد)، عراقی محله (گرگان)، زرقان (فارس) و صفی‌آباد (دزفول) در هر سه سال زراعی اجرای آزمایش (۹۸-۱۳۹۵)، شرایط مناسبی برای ظهور و گسترش بیماری سفیدک پودری در خزانه‌های تله فراهم بود. در این مناطق، رقم شاهد حساس (افضل) در اغلب کرت‌های شیوع دهنده بیماری، آلودگی ۹۹-۷۲ درصد (حساس تا خیلی حساس) در مقیاس دو عددی نشان داد و بنابراین بیماری به‌خوبی روی سایر رقم‌ها و لاین‌های حساس ظاهر شد. در شرایط ایستگاه بایع‌کلا (قائمشهر) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، بیماری سفیدک پودری در خزانه تله گسترش نیافت، ولی در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۸-۱۳۹۷ بیماری به‌خوبی توانست توسعه یابد. در شرایط ایستگاه پارس‌آباد (مغان) نیز در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶، بیماری سفیدک پودری به‌خوبی در خزانه تله گسترش یافت، ولی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ این بیماری با شدت کم‌تری ظاهر شد، به‌طوری که هیچکدام از لاین‌های ایزوژن واکنشی نشان ندادند. لازم به توضیح است که در جمع‌بندی نتایج در مناطق مختلف اجرای این آزمایش، فقط داده‌های مربوط به سال‌هایی مورد استناد قرار گرفته است که بیماری سفیدک پودری به‌خوبی توانست در خزانه گسترش یابد.

وضعیت طیف پرآزاری/ ناپرآزاری سفیدک پودری جو در منطقه مشهد

بر اساس ارزیابی لاین‌های ایزوژن افتراقی، وضعیت طیف پرآزاری (ژن‌های مقاومت غیرموثر) و ناپرآزاری (ژن‌های مقاومت موثر) در جمعیت‌های محلی عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، در منطقه مشهد برای ژن‌های مقاومت *Mla22*، *Mlk* و *Mlk(1)* در هر سه سال، طیف پرآزاری (ژن‌های مقاومت غیرموثر) مشاهده شد. در مقابل برای ژن‌های مقاومت *Mla3*، *Mla6*، *Mla14*، *Mla7*، *Ml(No3)*، *Mla9*، *Mla10*، *Ml(Du2)*، *Mla12*، *Ml(Em2)*، *Mla13*، *Ml(Ru3)*، *Mlat* و *mlo5* در هر سه سال اجرای آزمایش در این منطقه پرآزاری مشاهده نشد و بنابراین، این ژن‌های مقاومت موثر بوده‌اند. واکنش سایر ژن‌های مقاومت در این منطقه در سال‌های مختلف متفاوت بوده است.

وضعیت طیف پرآزاری/ ناپرآزاری سفیدک پودری جو در منطقه گرگان

در منطقه گرگان، برای ژن‌های مقاومت *Mlk* و *Mla23* طی هر سه سال اجرای آزمایش طیف پرآزاری مشاهده شد که نشان‌دهنده غیرموثر بودن این ژن‌ها در این منطقه می‌باشد، در حالی‌که برای ژن‌های مقاومت *Mla9*، *Mla3*، *Mla13*، *Ml(Ru3)* و *mlo5* طی هر سه سال اجرای آزمایش، طیف پرآزاری مشاهده نشد و از این‌رو ژن‌های مقاومت فوق موثر بودند. در این منطقه، سایر ژن‌های مقاومت واکنش‌های متفاوتی طی سال‌های مختلف از خود نشان دادند.

جدول ۱- مشخصات لاین‌های ایزوژن افتراقی و واکنش آن‌ها نسبت به بیماری سفیدک پودری در مناطق مختلف کشور طی سه سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۵

Table 1. Characteristics of differntial isogenic lines used in this study and their reactions to the powdery mildew disease in different regions of Iran during three cropping seasons (2016-2019)

No.	Cultivar	Resistance gene (s)	Mashhad †			Gorgan			Ghaemshahr			Pars Abad			Zarghan			Dezful		
			1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd
1	Pallas	*Mla8*	0	58	55	74	0	34	74	31	33	57	33	27	83	82	0	71	0	0
2	P01	*Mla1, Ml(A12)*	0	0	58	58	0	32	52	31	53	67	34	36	82	81	0	0	72	71
3	P02	*Mla3*	0	12	31	32	0	32	31	11	31	67	22	0	72	63	0	0	0	71
4	P03	*Mla6, Mla14*	0	0	31	57	0	34	31	31	31	56	23	28	52	62	0	0	0	0
5	P04B	*Mla7, Ml(No3)*	0	0	0	73	0	31	53	11	31	44	17	36	72	52	0	0	0	51
6	P08B	*Mla9*	0	12	0	35	0	13	31	11	31	22	25	0	82	82	0	0	71	0
7	P09	*Mla10, Ml(Du2)*	31	0	0	32	58	13	72	11	51	78	25	13	82	72	0	0	73	71
8	P10	*Mla12, Ml(Em2)*	0	12	32	0	58	11	72	11	57	56	27	37	92	83	0	0	0	0
9	P11	*Mla13, Ml(Ru3)*	0	0	0	0	0	32	31	31	32	35	35	15	82	61	0	0	0	51
10	P12	*Mla22*	52	51	52	0	54	34	74	31	53	35	37	0	82	72	0	0	52	0
11	P13	*Mla23*	51	0	11	55	52	54	71	31	55	26	15	0	83	0	0	0	51	0
12	P16	*Mlk*	58	71	56	76	74	54	76	31	75	15	57	15	87	77	95	71	73	73
13	P17	*Mlk(1)*	56	72	75	75	58	56	76	11	75	17	23	13	87	63	97	72	51	73
14	P19	*Mlp*	51	0	54	77	54	13	74	31	75	16	56	0	76	0	0	52	0	53
15	P20	*Mlat*	31	0	32	77	58	34	74	31	57	27	22	0	74	0	53	71	71	0
16	P21	*Mlg, Ml(CP)*	32	0	53	55	55	13	53	11	31	16	24	0	73	0	0	0	72	51
17	P22	*mlo5*	0	0	0	0	0	14	12	11	0	15	12	0	0	0	0	12	0	0
18	P23	*MlLa*	31	0	56	74	54	13	74	31	71	25	0	0	42	0	0	72	0	0
19	P24	*Mlh*	58	32	58	72	0	52	76	11	75	17	23	15	73	0	65	73	71	73
Afzal (Susceptible check)			78	72	91	79	79	56	79	31	77	79	57	78	85	85	99	73	78	72

† 1 st , 2 nd and 3 rd indicate the results of the first (2016-17), second (2017-18) and third (2018-19) years, respectively.

جدول ۲- واکنش تعدادی از منابع مقاومت نسبت به بیماری سفیدک پودری در مناطق مختلف کشور طی سه سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۵

Table 2. Reactions of a number of resistance sources to powdery mildew in different regions during three cropping seasons (2016-2019)

No.	Cultivar	Resistance gene (s) †	Mashhad ‡			Gorgan			Ghaemshahr			Pars Abad			Zarghan			Dezful		
			1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
1	Digger	*Mla13, Ml(Ru3)*	0	0	12	35	0	34	0	11	11	43	46	11	42	44	0	0	0	0
2	Punto	*Mla3, Ml(Tu2), Ml(Im9), Ml(Hu4)*	0	0	0	55	0	32	0	11	11	33	0	11	73	62	83	0	0	0
3	Hennie	*Mla7, U*	0	0	0	32	0	56	0	31	31	25	26	31	82	73	0	0	0	0
4	Goldie	*Mla12,MlLa, U*	0	0	0	32	0	32	0	11	11	12	35	11	72	0	0	0	0	0
5	Tofta	*Mla13,Ml(Im9)*	0	0	11	11	0	54	0	31	11	25	24	11	72	43	0	0	0	71
6	Meltan	*Mla13,Ml(Im9),Ml(Hu4)*	0	0	75	11	0	34	0	11	75	15	16	75	42	33	0	0	0	71
7	Jarek	*MlLa, Ml(Kr)*	0	0	15	0	0	36	0	31	11	36	14	11	42	0	0	0	0	0
8	Steffi	*Ml(St1), Ml(St2)*	0	0	0	0	33	35	31	31	11	12	57	11	83	52	0	0	0	72
9	Optima	*U1*	0	0	0	54	0	34	0	11	11	11	17	11	82	82	0	0	0	0
10	Scarlett	*U2*	0	0	0	54	0	32	0	31	11	15	17	11	82	72	0	0	0	0
11	L94	*mlo 11*	0	0	0	0	0	13	11	12	11	15	11	11	12	0	0	11	11	0
12	Vada	*MlLa*	31	51	0	55	0	13	74	11	11	0	0	11	72	72	0	71	73	51
13	Alexis	*mlo9*	12	0	0	0	0	13	11	-	11	12	0	11	12	0	0	11	0	0
14	Adele	*Mlg*	0	0	11	58	0	34	31	31	72	11	0	72	74	65	83	71	0	0
15	Escort	*Mlg, Mla7, Mlk,MlLa*	0	0	0	55	0	34	31	11	11	0	13	11	72	61	0	0	0	0
16	Ariel	*Mla12*	0	0	31	58	0	34	75	11	72	0	34	72	73	64	0	73	0	0
17	Bond	?	0	0	0	55	0	54	31	31	11	22	0	11	74	53	0	71	0	0
18	Brenda	*mlo11*	11	0	0	11	0	12	11	11	11	12	0	11	0	0	0	11	0	0
19	Canut	*?*	0	0	11	52	0	34	31	11	11	25	0	11	62	61	0	71	0	0
20	Chalice	*mlo11*	0	33	0	0	0	14	11	11	11	0	0	0	0	0	0	12	0	0
21	Dialog	?	58	31	0	58	54	56	31	11	52	12	24	0	73	61	0	71	71	51
22	Fusion	?	0	0	0	0	0	32	0	11	11	12	0	0	73	65	0	71	0	0
23	Princess	?	0	51	11	0	0	34	0	31	31	12	23	42	74	52	0	0	0	51
24	Prisma	?	0	0	0	0	0	34	31	11	11	0	24	0	73	52	0	0	0	0
25	Viskosa	*mlo?*	0	11	0	0	0	12	11	31	11	0	0	0	0	0	0	12	0	0
26	Wren	*mlo?*	0	11	11	0	0	15	11	31	11	0	0	0	0	0	0	11	12	0
27	Tyra	*Mla1, Ml(Al2)*	32	0	0	58	0	32	31	33	31	0	32	0	83	64	0	71	0	0
28	Simon	*Mla9, Mlk*	0	18	35	58	0	32	31	33	55	37	27	22	53	52	0	71	75	73
29	Midas	*Mla6, Mla14*	0	32	55	54	55	54	31	33	31	35	26	0	42	32	0	71	71	55
30	Hassan	*Mla12, Ml(Em2)*	0	0	32	77	54	34	52	31	52	0	17	0	72	52	0	71	71	71
31	Hordeum 1063	*Mlk*	0	31	31	75	58	56	53	11	55	36	26	24	72	71	53	71	71	51
32	Lofa Abed	*MlLa*	31	33	0	74	52	34	52	31	11	0	14	0	62	62	0	71	72	0
33	Varunda	*MlLa*	31	32	31	55	0	36	31	31	52	0	0	0	86	85	0	71	71	0
34	Zephyr	*Mlg, Ml(CP)*	0	0	33	35	55	34	-	31	11	23	14	0	83	63	51	71	71	0

† ? Unknown resistance gene (s)

‡ 1st , 2nd and 3rd indicate the results of the first (2016-17), second (2017-18) and third (2018-19) years, respectively.

جدول ۳- واکنش تعدادی از ارقام تجاری جو آبی نسبت به سفیدک پودری در مناطق مختلف کشور طی سه سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۵

Table 3. Reactions of a number of barley cultivars to powdery mildew in different regions during three cropping seasons (2016-2019)

		Mashhad †			Gorgan			Ghaemshahr			Pars Abad			Zarghan			Dezful		
No.	Cultivar	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd	1st	2 nd	3 rd
1	Makouee	59	71	72	58	52	35	73	31	73	0	16	0	64	52	44	72	77	52
2	Bahman	58	58	75	97	77	32	75	31	77	0	33	0	84	74	88	75	78	73
3	Yousouf	35	35	52	74	56	79	54	31	51	13	25	0	83	0	0	72	78	0
4	Nosrart	32	31	71	95	58	54	72	11	71	37	25	23	83	0	0	75	73	52
5	Nik	0	31	58	95	54	34	54	31	72	77	0	14	72	61	56	75	51	73
6	Behrokh	35	53	71	74	55	56	74	11	73	24	16	21	85	0	84	71	71	55
7	Fajre-30	35	71	75	77	54	36	73	33	73	23	24	12	83	0	75	77	72	55
8	Rihan	55	55	58	74	54	34	72	31	52	12	23	0	62	53	75	73	75	0
9	Nimrouz	0	51	73	73	58	33	74	11	11	37	35	53	73	52	0	75	73	52
10	Sahra	31	52	75	58	55	11	54	31	53	0	13	0	62	73	96	73	71	0
11	Jonoub	31	33	75	77	54	11	72	31	75	25	37	28	85	74	86	72	72	75
12	Zahak	0	0	31	0	0	32	31	31	31	15	0	21	84	74	0	72	0	73
13	Walfajre	35	31	52	52	58	57	53	11	53	55	16	0	72	72	0	73	71	71
14	Kavir	31	31	72	78	58	76	72	31	77	37	0	0	62	63	57	71	72	0
15	Zarjow	51	52	73	77	74	34	72	33	77	27	26	22	62	76	67	75	77	71
16	Aras	0	31	0	74	0	56	31	31	11	15	0	0	72	64	0	71	71	0
17	Loot	31	53	71	76	58	79	74	33	57	45	0	35	73	52	56	73	71	52
18	Rihan-03	31	51	58	76	75	34	73	31	77	47	23	35	83	73	55	75	71	71
19	Karoon	55	0	35	75	76	33	52	53	53	0	23	0	83	71	0	71	75	0
20	Dasht	0	55	58	58	0	54	74	11	75	33	0	38	84	71	55	72	0	71
21	Torkman	55	52	55	76	56	54	73	33	75	22	25	0	84	72	53	72	72	71
22	Torsh	52	52	72	77	56	56	74	33	57	78	33	0	63	63	66	73	77	53
23	Jolge	38	0	0	58	58	33	72	31	31	33	24	0	82	71	0	71	73	0
24	Goharan	58	71	55	75	76	76	74	71	55	76	26	37	82	54	85	73	73	73

† 1 st , 2 nd and 3 rd indicate the results of the first (2016-17), second (2017-18) and third (2018-19) years, respectively.

وضعیت طیف پرآزاری/ ناپرآزاری سفیدک پودری جو در منطقه قائمشهر

بر اساس نتایج دو سال ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۸-۱۳۹۷ در این منطقه، برای گیاهان حامل ژن‌های مقاومت *Mla1*، *Ml(A12)*، *Mla10*، *Ml(Du2)*، *Mla12*، *Ml(Em2)*، *Mla22*، *Mla23*، *Mlk*، *Mlk(1)*، *Mlp*، *Mlat*، *MlLa* و *Mlh* پرآزاری مشاهده شد و بنابراین این ژن‌ها غیرموثر بودند، اما برای گیاهان حامل ژن‌های مقاومت *Mla3*، *Mla6*، *Mla14*، *Mla9*، *Mla13*، *Ml(Ru3)* و *mlo5* پرآزاری مشاهده نشد و بنابراین این ژن‌ها در هر دو سال موثر بودند. سایر ژن‌های مقاومت نیز در سال‌های مختلف واکنش متفاوتی داشتند.

وضعیت طیف پرآزاری/ ناپرآزاری سفیدک پودری جو در منطقه پارس آباد (مغان)

همان‌طور که خلاصه نتایج واکنش لاین‌های ایزوژن افتراقی (جدول‌های ۴ و ۵) نشان می‌دهد، نتایج سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌دلیل عدم واکنش هیچ‌کدام از لاین‌ها در منطقه پارس‌آباد لحاظ نشده است. در این منطقه ژن‌های مقاومت *Mla7*، *Ml(No3)*، *Mla9*، *Mla13*، *Ml(Ru3)*، *Mla22*، *Mla23*، *Mlk(1)*، *Mlat*، *Mlg*، *Ml(CP)*، *mlo5*، *MlLa* و *Mlh* در دو سال ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ موثر بودند. سایر ژن‌های مقاومت در سال‌های مختلف واکنش متفاوتی نشان دادند.

وضعیت طیف پرآزاری/ ناپرآزاری سفیدک پودری جو در منطقه زرقان (فارس)

واکنش لاین‌های ایزوژن افتراقی (جدول‌های ۴ و ۵) در منطقه زرقان نشان داد که برای ژن‌های مقاومت *Mlh* و *Mlk(1)* در هر سه سال انجام آزمایش پرآزاری مشاهده شد و این ژن‌ها غیرموثر بودند و در مقابل، برای ژن‌های مقاومت *mlo5* و *MlLa* در هیچ‌یک از سال‌ها پرآزاری مشاهده نشد و ژن‌های موثری در این منطقه بودند. لاین‌های حامل سایر ژن‌های مقاومت نیز واکنش متفاوتی در سال‌های مختلف نشان دادند.

وضعیت طیف پرآزاری/ ناپرآزاری سفیدک پودری جو در منطقه دزفول

نتایج نشان داد که لاین‌های افتراقی حامل ژن‌های مقاومت *Mlk*، *Mlk(1)* و *Mlh* در هر سه سال اجرای آزمایش در منطقه دزفول، واکنش پرآزاری داشتند، در حالی‌که برای لاین‌های حامل ژن‌های مقاومت *Mla6*، *Mla14*، *Mla12*، *Ml(Em2)* و *mlo5* در این منطقه در هیچ‌یک از سال‌ها واکنش پرآزاری مشاهده نشد و از این‌رو این ژن‌ها موثر بودند. واکنش لاین‌های افتراقی حامل سایر ژن‌های مقاومت نیز در سال‌های مختلف، متفاوت بود.

وضعیت کلی طیف پرآزاری/ ناپرآزاری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف کشور

جمع‌بندی نتایج واکنش لاین‌های ایزوژن افتراقی سفیدک پودری جو در همه مناطق بررسی شده طی هر سه سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ تا ۹۸-۱۳۹۷ نشان داد که دو ژن مقاومت *Mlk* و *Mlk(1)* طی هر سه سال و در همه مناطق مورد مطالعه دارای بیش‌ترین فراوانی پرآزاری و غیرموثر بودند. همچنین، برای گیاهان حامل ژن‌های مقاومت*Mla22* ، *Mla23* و *Mlh* پرآزاری طی هر سه سال مورد بررسی حداقل در دو منطقه از کشور مشاهده شد و از این‌رو این ژن‌ها نیز غیرموثر بودند و منابع ژنتیکی حامل این ژن‌ها برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام مقاوم جدید قابل توصیه نمی‌باشند.

نتایج بررسی فاکتورهای پرآزاری سفیدک پودری جو در نواحی مختلف کشور طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ و نتایج تحقیقات چند سال اخیر نشان داده است که پرآزاری برای ژن *Mlk* دارای بیش‌ترین پراکنش در ایران است (Patpour *et al*., 2003, 2005; Aghnoum *et al*., 2019, 2021). بر اساس گزارش پات‌پور و همکاران (Patpour *et al*., 2003)، بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *MlLa* طی سال‌های ۸۱-۱۳۷۹ فقط در مناطق اهواز، کرج و دزفول مشاهده شد. نتایج این مطالعه و گزارش اقنوم و و همکاران (Aghnoum *et al*., 2019, 2021)، ظهور ویرولانس را برای این ژن در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر نشان می‌دهد. بر اساس گزارش پات‌پور و همکاران (Patpour *et al*., 2003, 2005)، ژن‌های مقاومت *Mlg* و *MlCP* در تمام مناطق مورد بررسی موثر بودند، در حالی‌که نتایج این تحقیق وجود پرآزاری را برای گیاهان حامل این دو ژن مقاومت در مشهد، گرگان، دزفول، قائمشهر و زرقان نشان داد. اقنوم و همکاران (Aghnoum *et al*., 2019, 202) نیز ظهور عامل‌های پرآزاری جدید را برای این دو ژن مقاومت در مناطق مشهد، گرگان و دزفول گزارش کردند.

جدول ۴- ژن‌های مقاومت موثر به بیماری سفیدک پودری در مناطق مختلف کشور بر اساس واکنش لاین‌های ایزوژن افتراقی جو
Table 4. Effective powdery mildew resistance genes in different regions of Iran based on the reaction of barley differential isogenic lines

Location	Growing season			All three growing seasons
	2016-17	2017-18	2018-19	
Mashhad	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa*	*Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla23, Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa, Mlh*	*Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla23, Mlat, mlo5*	*Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mlat, mlo5*
Gorgan	*Mla3, Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, mlo5*	*Mla8,Mla1, Ml(A12), Mla3,Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla13, Ml(Ru3), mlo5, Mlh*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), MlLa*	*Mla3, Mla9, Mla13, Ml(Ru3), mlo5*
Ghaemshahr	*Mla3, Mla6, Mla14 Mla9, Mla13, Ml(Ru3), mlo5*	*Mla8, Mla1,Ml(A12), Mla3,Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22 , Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa, Mlh*	*Mla8, Mla3,Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla13, Ml(Ru3), Mlg, Ml(CP), mlo5*	*Mla3, Mla6, Mla14, Mla9, Mla13, Ml(Ru3), mlo5*
Pars Abad	*Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa, Mlh*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22 , Mla23, Mlk(1), Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa, Mlh*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22 , Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa, Mlh*	*Mla7, Ml(No3), Mla9,Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, Mlk(1), Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa, Mlh*
Zarghan	*mlo5, MlLa*	*Mla23, Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa, Mlh*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22 , Mla23, Mlp, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa*	*mlo5, MlLa*
Dezful	*Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22 , Mla23, Mlg, Ml(CP), mlo5*	*Mla8, Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mlp, mlo5, MlLa*	*Mla8, Mla6, Mla14, Mla9, Mla12, Ml(Em2), Mla22 , Mla23, Mlat, mlo5, MlLa*	*Mla6, Mla14, Mla12, Ml(Em2), mlo5*

جدول ۵- ژن‌های مقاومت غیر موثر به بیماری سفیدک پودری در مناطق مختلف کشور بر اساس واکنش لاین‌های ایزوژنیک افتراقی جو
Table 5. Ineffective powdery mildew resistence genes in different regions of Iran based on the reaction of barley differential isogenic lines

Location	Growing season			All three growing seasons
	2016-17	2017-18	2018-19	
Mashhad	*Mla22 , Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlh*	*Mla8, Mla22, Mlk, Mlk(1)*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla22, ,Mlk, Mlk(1),Mlp, Mlg, Ml(CP), MlLa, Mlh*	*Mla22, Mlk,Mlk(1)*
Gorgan	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), MlLa, Mlh*	*Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla22, Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), MlLa*	*Mla23, Mlk, Mlh, Mlk(1)*	*Mla23, Mlk, Mlk(1)*

Table 5. Continued

جدول ۵- ادامه

Location	Growing season			All three growing seasons
	2016-17	2017-18	2018-19	
Ghaemshahr	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla7, Ml(No3), Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla22, Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), MlLa, Mlh*	-	*Mla1, Ml(A12), Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla22 , Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, MlLa, Mlh*	*Mla1, Ml(A12), Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla22 , Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, MlLa, Mlh*
Pars Abad	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2)*	*Mlk, Mlp*	-	-
Zarghan	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22 , Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), Mlh*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(D u2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mlk, Mlk(1)*	*Mlk, Mlk(1), Mlat, Mlh*	*Mlk, Mlk(1)*
Dezful	*Mla8, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, MlLa, Mlh*	*Mla1, Ml(A12), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla22 , Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlat, Mlg, Ml(CP), Mlh*	*Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla7, Ml(No3), Mla10, Ml(Du2), Mla13, Ml(Ru3), Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlg, Ml(CP), Mlh*	*Mlk, Mlk(1), Mlh*

بر اساس نتایج این تحق یق، ا برای ژن مقاو مت *Mla6* که به‌همراه ژن *Mla14* در لاین ایزوژن P03 وجود دار ند، یک سال در مناطق گرگان و پارس‌آباد و دو سال در زرقان واکنش پرآزاری مشاهده شد. پرآزاری برای ژن مقاو مت *Mla3* علاوه بر دزفول، یک سال در پارسآ باد و دو سال در زر قان م شاهده شد. همچ نین، پرآزاری برای ژن مقاومت *Mla9* که قبلاً درکرج، دز فول، گر گان، م شهد و اهواز گزارش شده بود، فقط یک سال در دزفول و دو سال در زرقان مشاهده شد. ظ هور عامل های پرآزاری جد ید برای ژن (ژن های) م قاومتی که قبلاً موثر بوده‌ا ند و همچ نین عدم م شاهده پرآزاری برای ژن (ژن های) مقاومتی که قبلاً غیر موثر بوده‌اند، نشان دهـ نده دینام یک بودن جمعیت‌های محلی بی مارگر از ن ظر ت نوع ژنتی کی و نژادهای فیزیولوژیک ا ست که بر لزوم تداوم تحقی قات مرتبط با پایش عامل‌های پرآزاری عوامل م هم بی ماری‌زا و همچنین تحقیقات مرتبط با د ستیابی به م نابع ژنتی کی مقاومت به بیماری تاکید دارد. نتایج این مطال عه همچ نین نشان داد که ژن مقاو مت *mlo5* در ه مه م ناطق ا جرای آز مایش و ژن های مقاو مت *Mla3*، *Mla6*، *Mla9*، *Mla13*، *Ml(Ru3)*، *Mla12* و *Mla14* طی هر سه سال زراعی، حداقل در سه منطقه موثر بود ند. ب نابراین، منـابع ژنتیکی دارای این ژن‌های مقاومت می‌توانند بـه‌عنوان والـد مقاوم در برنامه‌های به‌نژادی مورد استفاده قرار گیرند.

مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف در مورد عامل‌های پرآزاری/ناپرآزاری عامل بیماری سفیدک پودری جو از جمله تحقیقات انجام شده در کشورهای مراکش و تونس در شمال آفریقا (Yahyaoui *et al*., 1997)، اروپای غربی (Hovmøller *et al*., 2000)، لتونی و جمهوری چک در اروپای شرقی (Dreiseitl, 2003, 2004; Kokina & Rashal, 2006)، غرب استرالیا (Tucker *et al*., 2013) و کشور قزاقستان در منطقه آسیای مرکزی (Rsaliyev *et al*., 2017)، وجود تنوع در جمعیت‌های محلی این بیمارگر را از نظر عامل‌های پرآزاری/ناپرآزاری نشان می‌دهند. بررسی عامل‌های بیماری‌زایی سفیدک پودری در چین با استفاده از ۴۶۱ جدایه عامل بیماری از چهار منطقه این کشور طی سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ نشان داد که تمامی جدایه‌ها برای ژن‌های مقاومت *Mla1*، *Mla3*، *Mla6*، *Mla7*، *Mla9*، *Mla12*، *Mla1*، *Mlat*، *Mlg*، *Mla10*، *Mla22*، *Mla23*، *Mlp1*، *Ml(N81)* و *Mlmw* ناپرآزار بودند، در حالی‌که بیماری‌زایی برای نه ژن از ژن‌های مقاومت ذکر شده در اروپا شایع بود (Dreiseitl & Wang, 2007).

واکنش منابع ژنتیکی مقاومت نسبت به بیماری سفیدک پودری

واکنش ۳۴ رقم جو که دارای ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص و یا نامشخص هستند، به‌عنوان منابع مقاومت به بیماری سفیدک پودری (Hovmøller *et al*., 2000) در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اغلب رقم‌های مورد ارزیابی واکنش متفاوتی در مناطق مختلف نشان دادند. هشت ژنوتیپ، شامل لاین L94 و رقم‌های Alexis، Chalice، Wren، Viskosa و Brenda که دارای یکی از الل‌های ژن مقاومت *mlo* هستند، و رقم‌های Digger (حامل ژن‌های *Mla13* و *Ml(Ru3)*) و Jarek (حامل ژن‌های *MlLa* و *Ml (Kr)*) در همه مناطق اجرای آزمایش مقاوم بودند و به‌عنوان منابع مقاومت موثر به بیماری سفیدک پودری جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو معرفی می‌شوند. در مقابل، رقم‌های دارای ژن‌های مقاومت *Mlg*، *Ml(CP)*، *MlLa*، *Mla12*، *Mlk*، *Mla6*، *Mla14*، *Mla13*، *Ml(Im9)*، *Ml(Hu4)*، *Mla1*، *Ml(Al2)*، *Mla9* و *Ml(Em2)* در اغلب مناطق مورد بررسی واکنش حساس یا نیمه‌حساس نشان دادند و در نتیجه این ژن‌ها غیرموثر هستند (جدول ۲).

واکنش ارقام تجاری داخلی نسبت به بیماری سفیدک پودری

نتایج ارزیابی مقاومت ۲۴ رقم تجاری داخلی جو نسبت به بیماری سفیدک پودری طی سه سال در شش منطقه اجرای آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که این نتایج نشان می‌دهند، رقم‌های داخلی جو مورد بررسی واکنش‌های متفاوتی نسبت به بیماری سفیدک پودری در مکان‌های مختلف و طی سال‌های مختلف نشان دادند. رقم زهک در هر سه سال اجرای آزمایش حداقل در سه منطقه واکنش مقاوم یا نیمه‌مقاوم نشان داد، در حالی‌که سایر ارقام تجاری طی هر سه سال اجرای آزمایش حداقل در دو منطقه، واکنش حساس (یا نیمه‌حساس) نشان دادند. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که اغلب ارقام تجاری مورد ارزیابی نسبت به سفیدک پودری حساس و یا نیمه‌حساس هستند. از این‌رو، مطالعات مرتبط با شناسایی منابع جدید مقاومت به این بیماری به‌منظور استفاده در برنامه‌های دورگ‌گیری و هدایت نسل‌های در حال تفرق ضروری است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق وجود تنوع قابل ملاحظه‌ای را در جمعیت‌های محلی عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف کشور نشان داد. همچنین این نتایج، ظهور عامل‌های پرآزاری جدید برای برخی از ژن‌های مقاومت از جمله *MlLa*، *Mlg* و *MlCP* که قبلاً در بعضی مناطق کشور موثر بودند را تایید کرد. بر این اساس و همچنین با توجه به حساس یا نیمه‌حساس بودن اغلب ارقام تجاری، انجام تحقیقات پیوسته در مورد پایش عامل‌های پرآزاری سفیدک پودری جو در مناطق مهم مستعد این بیماری و همچنین ارزیابی منابع ژنتیکی جدید به‌منظور شناسایی و استفاده از آن‌ها در تولید ارقام مقاوم جدید ضروری است. با توجه به موثر بودن ژن‌های مقاومت *mlo*، *Mla3*، *Mla6*، *Mla9*، *Mla13*، *Ml(Ru3)*، *Mla12*، *Mla14* در مناطق مختلف کشور، استفاده از منابع ژنتیکی دارای این ژن‌ها به‌منظور انتقال مقاومت به رقم‌های جدید در برنامه‌های به‌نژادی جو آبی کشور پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله از گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی ملی با عنوان "بررسی تغییرات فاکتورهای بیماری‌زایی قارچ *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف کشور با کاشت خزانه‌های تله" استخراج شده است که با شماره مصوب ۰-۴۳-۰۳-۱۵۲-۹۵۰۵۵۸ در مرکز علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی به ثبت رسیده است. نگارندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان‌های محل اجرای پروژه به‌خاطر فراهم کردن امکانات اجرای این تحقیق، تشکر و سپاسگزاری می‌کنند.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه 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 تاکنون 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 به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Aghnoum, R., Dehghan, M. A., Ebrahimnejad, Sh., & Mehrabi, R. (2021). Identification of the virulence factors of *Blumeria graminis* f.sp *hordei*, the causal agent of barley powdery mildew in northeast and northern region of Iran. *Cereal Research*, *10*(4), 339-349. [In Persian]. doi: 10.22124/CR.2021.18839.1648.

Aghnoum, R., Yassaie, M., Dalvand, M., & Tabatabaei Fard, N. (2019). Virulence analysis and effectiveness of new sources of resistance to barley powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) in Southwestern regions of Iran. *Crop Breeding Journal*, *9*(2), 23-31. doi. 10.22092/CBJ.2020.342392.1053.

Ames, N., Dreiseitl, A., Steffenson, B. J., & Muehlbauer, G. J. (2015). Mining wild barley for powdery mildew resistance. *Plant Pathology*, *64*(6), 1396-1406. doi: 10.1111/ppa.12384.

Behdad, E. (2006). Phytopathology and Important Plant Disease. Atre Etrat Publication. 785 p. [In Persian].

Bihamta, M. R., Khalili Azar, R., Patpour, M., & Shahve, Sh. (2012). Study on pathogenicity factors of barley powdery mildew in some regions of Iran. Tehran, Iran. Proceedings of the 12 th Iranian Genetics Congress. May 21-23, 2012, Shahid Beheshti University International Congress Center, Tehran, Iran. [In Persian].

Brent, K. J., & Hollomon, D. W. (2007). Fungicide resistance in crop pathogens: How can it be managed? FRAC Monograph No. 1. 2nd Edition. CropLife International, Brussels. 55 p.

Czembor, J. H. (2000). Resistance to powdery mildew in barley landraces from Morocco. *Journal of Plant Pathology*, *82*(3), 187-200.

Czembor, J. H. (2001). Resistance to powdery mildew in selections from barley landraces collected in Greece. *Agricultural & Food Science*, *10*(2), 133-142. doi: 10.23986/afsci.5681.

Czembor, J. H., & Czembor H. J. (2000). Powdery mildew resistance in selections from Moroccan barley landraces. *Phytoparasitica*, *28*, 65-78. doi: 10.1007/bf02994024.

Czembor J. H., & Czembor, E. (2021). Sources of resistance to powdery mildew in barley landraces from Turkey. *Agriculture*, *11*(10), 1017. doi: 10.3390/ agriculture11101017.

Dreiseitl, A. (2003). Adaptation of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* to barley resistance genes in the Czech Republic in 1971-2000. *Plant, Soil & Environment*, 49(6), 241-248. doi: 10.17221/4120-pse.

Dreiseitl, A. (2004). Virulence frequencies to powdery mildew resistance genes of winter barley cultivars. *Plant Protection Science*, *40*(4), 135-140. doi: 10.17221/466-pps.

Dreiseitl, A., & Wang, J. (2007). Virulence and diversity of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* in East China. *European Journal of Plant Pathology*, *117*, 357-368. doi: 10.1007/s10658-007-9104-1.

Hovmøller, M. S., Caffier, V., Jalli, M., Andersen, O., Besenhofer, G., Czembor, J. H., Dreiseitl, A., Felsenstein, F., Fleck, A., Heinrics, F., Jonsson, R., Limpert, E., Mercer, P., Plesnik, S., Rashal, I., Skinnes, H., Slater, S., & Vronska, O. (2000). The European barley powdery mildew virulence survey and disease nursery 1993-1999. *Agronomie*, *20*(7), 729-743. doi: 10.1051/agro:2000172.

Ershad, J. (2009). Fungi of Iran. 3rd Edition. Publication of Iranian Research Institute of Plant Protection. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. 531 p. [In Persian].

Eyal, Z., Scharen, A. L., Prescott, J. M., & van Ginkel, M. (1987). The septoria diseases of wheat: Concepts and methods of disease management. Mexico, D.F. CIMMYT. 24 p.

Jørgensen, J. H. (1992). Discovery, characterization and exploitation of *Mlo* powdery mildew resistance in barley. *Euphytica*, *63*, 141-152. doi: 10.1007/bf00023919.

Jørgensen, H., & Wolfe, P. M. (1994). Genetics of powdery mildew resistance in barley. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *13*(1), 97-119 doi: 10.1080/07352689409701910.

Kokina, I., & Rashal, I. (2006). Monitoring the population of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* in the South-Eastern part of Latvia. *Agronomy Research*, *4*, 231-236.

Kølster, P., Munk, L., Stolen, O., & Lohde, J. (1986). Near-isogenic barley lines with genes for resistance to powdery mildew. *Crop Science*, *26*(5), 903-907. doi: 10.2135/cropsci1986.0011183X002600050014x.

Maramat, M. J., Moosavi, M. R, Keshavarzi, M., & Taeb, M. (2013). Investigation on barely powdery mildew virulence factors in Fars province, Iran. *Journal of Research in Plant Pathology*, *1*(3), 17-25. [In Persian].

McDonald, B. A., & Linde, C. (2002). The population genetics of plant pathogens and breeding strategies for durable resistance. *Euphytica*, *124*, 163-180. doi: 10.1023/A:1015678432355.

Opalski, K. S., Tresch, S., Kogel, K. H., Grossmann, K., Kohle, H., & Huckelhoven, R. (2006). Metrafenone: Studies on the mode of action of a novel cereal powdery mildew fungicide. *Pest Management Science*, *62*(5), 393-401. doi: 10.1002/ps.1176.

Patpour, M., Aghnoum, R., Dad-Rezaei, S. T., Houshyar, R., Dehghan, M. A., & Ahmadian Moghadam, M. S. (2003). Study on virulence of barley powdery mildew by trap nursery in different regions of Iran. Final report of research project. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. 14 p. [In Persian].

Patpour, M., Torabi, M., Afshari, F., Aghnoum, R., Dehghan, M. A., Dad-Rezaei S. T., & Ahmadian Moghadam, M. S. (2005). Virulence factores of barley powdery mildew pathogen and their variation in some parts of Iran during 2000-2002. *Seed & Plant Journal*, *21*(2), 303-313. [In Persian]. doi: 10.22092/SPIJ.2017.110652.

Radchenko, E. E., Abdullaev, R. A., & Anisimova, I. N. (2020).Genetic diversity of cereal crops for powdery mildew resistance. *Ecological Genetics*, *18*(1), 59-78. doi: 10.17816/ecogen14530.

Rsaliyev, A., Pahratdinova, Z., & Rsaliyev S. (2017). Characterizing the pathotype structure of barley powdery mildew and effectiveness of resistance genes to this pathogen in Kazakhstan. *BMC Plant Biology*, *17*(Suppl. 1), 178. doi: 10.1186/s12870-017-1130-3.

Saari, E. E., & Prescott, J. M. (1975). A scale for appraising the foliar intensity of wheat disease. *Plant Disease Reporter*, *59*(5), 377-380.

Tucker, M. A., Jayasena, K., Ellwood, S. R., & Oliver, R. P. (2013). Pathotype variation of barley powdery mildew in Western Australia. *Australasian Plant Pathology*, *42*(5), 617-623. doi: 10.1007/s13313-013-0226-y.

Wyand, R. A., & Brown, J. K. M. (2003). Genetic and forma specialis diversity in *Blumeria graminis* of cereals and its implications for host-pathogen co-evolution. *Molecular Plant Pathology*, *4*(3), 187-198. doi: 10.1046/j.1364-3703.2003.00167.x.

Yahyaoui, A. H., Reinhold, M., & Scharen, A. L. (1997). Virulence spectrum in populations of the barley powdery mildew pathogen, *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* in Tunisia and Morocco in 1992. *Plant Pathology*, *46*(1), 139-146. doi: 10.1046/j.1365-3059.1997.d01-11.x.