doi: 10.22124/cr.2021.18839.1648

(مقاله پژوهشی)

تحقیقات غلات

دوره دهم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۹ (۳۴۹-۳۳۹)

شناسایی فاکتورهای بیماری‌زایی *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق شمال شرق و شمال ایران

رضا اقنوم[1*]، محمدعلی دهقان[2]، شاهپور ابراهیم نژاد[3] و رحیم مهرابی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

چکیده

بیماری سفیدک پودری با عامل قارچی *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* یکی از مهم‌ترین بیماری‌های برگی جو در ایران است. این تحقیق به‌منظور شناسایی عامل‌های بیماری‌زایی در جمعیت قارچ عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مهم شیوع این بیماری در شمال شرق و شمال کشور و شناسایی منابع جدید مقاومت به بیماری انجام شد. برای این منظور، خزانه‌های تله متشکل از ۵۳ لاین و رقم شامل رقم پالاس، ۱۸ لاین تقریباً ایزوژنیک با ژن (یا ژن‌های) مقاومت مشخص و یک سری تکمیلی شامل ۳۴ رقم با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص و یا نامشخص در شرایط طبیعی در چهار کانون آلودگی به این بیماری شامل ایستگاه‌های تحقیقاتی طرق (مشهد)، عراقی‌محله (گرگان)، بایع‌کلا (قائمشهر) و مزرعه تحقیقات غلات (کرج) طی سه سال (۹۵-۱۳۹۲) ارزیابی شد. نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی و سری تکمیلی در مناطق مختلف کشور نشان‌دهنده وجود تنوع عامل‌های بیماری‌زایی در جمعیت محلی پاتوژن در این مناطق بود. ژن‌های مقاومت *Mlk(1)*، *Mlp*، *Mlat*، *MlLa*، *Mlh*، *Mla22* و *Mlk* دارای بیش‌ترین فراوانی پرآزاری در مناطق اجرای آزمایش بودند و به‌عنوان ژن‌های مقاومت غیرموثر در ایران گزارش می شوند. بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Mlp* که قبلاً در اغلب مناطق کشور موثر بوده است، در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر مشاهده شد. نتایج این بررسی همچنین نشان‌دهنده ظهور عامل‌های بیماری‌زایی جدید برای ژن مقاومت *MlLa* در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر، بیماری‌زایی برای ژن‌های مقاومت *Mlg* و *MlCP* در مشهد و گرگان و بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Mla3* در مشهد بود. بر اساس نتایج این بررسی، ژن‌های مقاومت *Mla7*، *Mla9*، *Mla10*، *Mla12*، *Mla13*، *mlo5*، *Ml(Du2)*، *Ml(Em2)*، *Ml(No3)* و *Ml(Ru3)* به‌عنوان منابع مقاومت موثر جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو به‌منظور معرفی ارقام مقاوم جدید شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: ارقام افتراقی، به‌نژادی، پرآزاری، ژن‌های مقاومت، ناپرآزاری

۱- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۲- محقق، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۳- محقق، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۴- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران (آدرس فعلی: دانشیار، گروه بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران)

* نویسنده مسئول: r.aghnoum@areeo.ac.ir

مقدمه

سفیدک پودری یکی از مهم‌ترین بیماری‌های برگی جو است که در اغلب مناطق کشت این محصول در دنیا از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است (Rsaliyev *et al*., 2017). این بیماری در ایران اولین بار در سال ۱۳۲۶ گزارش شد و در حال حاضر در تمام مناطق کشت جو در کشور شیوع دارد (Behdad, 2006; Ershad, 2009). سفیدک پودری غلات به‌وسیله قارچ انگل اجباری *Blumeria graminis* ایجاد می‌شود و دارای فرم‌های ویژه (Formae specials) است که هر یک به گونه خاصی از خانواده گندمیان حمله می‌کنند. فرم *B. graminis* f.sp. *hordei* به جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) و جو وحشی (*H. spontsneum*) حمله می‌کند، و قادر به آلودگی گندم و سایر گونه‌های زراعی گندمیان نیست. این بیماری باعث کاهش سطح فتوسنتز، افزایش میزان تنفس و تعرق گیاه و نیز باعث کاهش کیفیت محصول و مالت می‌شود (Czembor and Czembor, 2000).

در چند دهه گذشته از قارچ‌کشهای مختلف برای کنترل این بیماری استفاده شده است. اهمیت اقتصادی سفیدک پودری غلات را می‌توان از روی میزان تجارت قارچ‌کش‌های مورد استفاده برای کنترل این بیماری که سالیانه در جهان بیش از ۳۰۰ میلیون دلار تخمین زده شده است، ارزیابی کرد (Opalski *et al*., 2006). در عین حال تعداد زیادی از نژادهای این بیمارگر به قارچ‌کش‌های متداول مقاومت نشان داده‌اند (Brent and Hollomon, 2007). علاوه بر این، هزینه بالا و خطرات زیست‌محیطی ناشی از استفاده از قارچ‌کش‌ها باعث کاهش تدریجی استفاده از آن‌ها در کنترل این بیماری شده است (Czembor, 2001). اصلاح برای مقاومت به‌عنوان روش جایگزین استفاده از قارچ‌کش‌ها، بسیار موفقیت‌آمیز، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و از نظر زیست‌محیطی سالم معرفی شده است (Ames *et al*., 2015). سفیدک پودری از جمله بیمارگرهایی است که از توانایی بالایی برای شکستن ژن‌های مقاومت کامل برخوردار است، زیرا سیستم تولید مثل دوگانه، شامل تولید مثل جنسی و غیر جنسی را دارا می‌باشد. علاوه بر این، قارچ عامل بیماری از ظرفیت بالایی برای جریان ژن (Gene flow) برخوردار است. جریان ژن را می‌توان به‌عنوان فرایند تبادل آلل‌ها (ژن‌ها) و یا افراد (ژنوتیپ‌ها) بین نواحی جغرافیایی مجزا تعریف کرد (McDonald and Linde, 2002). اسپورهای سفیدک پودری قابلیت پراکنش در مسافت‌های طولانی به‌وسیله جریان باد را دارند. این قابلیت به‌همراه تولید مثل جنسی باعث افزایش تنوع ژنتیکی در جمعیت قارچ عامل بیماری و بنابراین افزایش احتمال بی‌اثر شدن ژن‌های مقاومت می‌شود. تا کنون بیش از یک‌صد ژن مقاومت کامل به این بیماری که مقاومت آن‌ها از نوع اختصاصی نژاد (Race-specific resistance genes) است و بر اساس فرضیه ژن-برای-ژن (Flor, 1942) عمل می‌کنند، شناخته شده و در برنامه های به‌نژادی جو به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. در عین حال همه این منابع مقاومت حدود پنج سال پس از کشت در سطح وسیع به‌علت ظهور نژادهای فیزیولوژیک جدید در جمعیت قارچ عامل بیماری بی‌اثر شده‌اند (Czembor, 2000).

در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام مقاوم به بیماری، شناسایی تنوع ژنتیکی جمعیت بیمارگر از نظر وجود فاکتورهای بیماری‌زایی برای ژن‌های مقاومت شناخته شده، از اهمیت بالایی برخوردار است. بر اساس تحقیقات انجام شده در غرب استرالیا، ژن‌های مقاومت *Mla-6*، *Mla-9*، *Ml-ra*، (*Mla-1 + Mla-A12*)، (*Mla-6 + Mla14*)، (*Mla-13 + Ml-Ru3*) و (*mlo-5*) در این منطقه موثر بوده‌اند (Tucker *et al*., 2013). نتایج یک تحقیق در شمال آفریقا در کشورهای مراکش و تونس نشان داد که به‌طور کلی طیف بیماری‌زایی عامل بیماری در این دو کشور مشابه بوده و بیماری‌زایی برای ژن‌های *Ml(Ru2)*، *MlLa*، *Mla8* و *Mla10+Du2* در این منطقه رایج است (Yahyaoui *et al*., 1997). بر اساس نتایج یک بررسی طی سال‌های ۱۹۹۹-۱۹۹۳ در اروپا نیز گزارش شد که فراوانی عامل‌های بیماری‌زایی برای ژن‌های مقاومت *Mla1*، *Mla3*، *Mla6*، *Mla7*، *Mla9*، *Mla12*، *Mla13*، *Mlk*، *MlLa* و *Mlg* در کشورهای مختلف در اغلب سال‌ها، متوسط تا زیاد است (Hovmøller *et al*., 2000). نتایج بررسی عامل‌های بیماری‌زایی سفیدک پودری جو در اروپای شرقی در کشورهای لتونی و جمهوری چک نیز نشان دهنده وجود تنوع ژنتیکی بالا در قارچ عامل بیماری در این کشورها بود (Dreiseitl, 2003; Kokina and Rashal, 2006). بررسی عامل‌های بیماری‌زایی سفیدک پودری جو در قزاقستان با استفاده از ۱۰۷ جدایه عامل بیماری نشان داد که همه جدایه‌ها برای ژن مقاومت *Mla8* بیماری‌زا و برای ژن‌های چندین ژن مقاومت از جمله *mlo-5* غیربیماری‌زا بودند (Rsaliyev *et al*., 2017).

نتایج بررسی عامل‌های بیماری‌زایی سفیدک پودری جو در نواحی مختلف کشور طی سال‌های ۸۱-۱۳۷۹ نشان داد که بیماری‌زایی برای ژن *Mlk* دارای بیش‌ترین پراکنش و برای ژن *Mla17* دارای کم‌ترین فراوانی بود و ژن‌های مقاومت *Mla3*، *Mla6*، *Mla13*، *Mla16*، *Mla19*، *Mlp*، *mlo*، *Mla7+MlAb* و *Mlg+MlCP* در تمام مناطق اجرای آزمایش موثر بودند (PatPour *et al.*, 2003, 2005). نتایج مطالعه دیگری در کشور طی سال‌های ۹۱-۱۳۸۹ نشان داد که از ژن‌های مقاومت *MLa9*، *MLa13* و *ML(Ru3)* می‌توان به‌عنوان منابع مقاومت مؤثر استفاده کرد (Bihamta *et al.*, 2012). تحقیق دیگری در استان فارس نشان داد که بیماری‌زایی برای ژن‌های مقاومت *Mla3* و *Mla23* دارای بیش‌ترین و برای ژن‌های *Mla22* و *Mla6+Mla14* دارای کم‌ترین فراوانی بود (Maramat *et al.*, 2013). با توجه به اهمیت سفیدک پودری جو در ایران، اصلاح برای مقاومت به این بیماری یکی از اولویت‌های اصلی برنامه‌های به‌نژادی جو آبی کشور است. نظر به اینکه در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام مقاوم، وجود اطلاعات دقیق در مورد عامل‌های بیماری‌زایی در جمعیت بیمارگر ضروری است، بنابراین این تحقیق جهت شناسایی عامل‌های بیماری‌زایی و تعیین طیف پرآزاری/ناپرآزاری جمعیت محلی قارچ عامل بیماری سفیدک پودری انجام شد. ارزیابی مقاومت مزرعه‌ای تعدادی از منابع ژنتیکی جو برای شناسایی منابع جدید مقاومت به بیماری از اهداف دیگر این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

مواد ژنتیکی

خزانه‌های تله سفیدک پودری جو متشکل از ۵۳ لاین و رقم، شامل رقم پالاس، ۱۸ لاین تقریباً ایزوژنیک (Near isogenic line) با زمینه ژنتیکی پالاس با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص (Kolster *et al.*, 1986) و یک سری تکمیلی شامل ۳۴ رقم با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص و یا نامشخص (Hovmøller *et al.*, 2000) از بخش اصلاح نباتات دانشگاه واخنینگن هلند دریافت شد. اطلاعات مربوط به مواد ژنتیکی مورد استفاده در این تحقیق در جدول‌های ۲ و ۶ ارایه شده است.

روش ارزیابی مقاومت به بیماری

خزانه‌های تله در مناطق مهم شیوع بیماری سفیدک پودری جو در چهار منطقه شامل ایستگاه‌های تحقیقاتی طرق (استان خراسان رضوی، مشهد)، عراقی‌محله (استان گلستان، گرگان)، بابع‌کلا (استان مازندران، قائمشهر) و مزرعه تحقیقاتی بخش غلات (استان البرز، کرج) در سه سال زراعی (۹۵-۱۳۹۲) ارزیابی شد. میزان ده گرم از بذر هر لاین یا رقم در دو خط یک متری روی یک پشته کشت شد. رقم افضل به‌عنوان شاهد حساس بعد از هر۲۰ شماره ژنوتیپ‌های آزمایشی و نیز در حاشیه خزانه‌ها به‌عنوان شیوع دهنده (Spreader) بیماری کشت شد. عملیات زراعی طبق دستورالعمل ایستگاه‌های تحقیقاتی انجام شد. ارزیابی پاسخ مواد آزمایشی نسبت به سفیدک پودری در مرحله گلدهی و زمانی که رقم افضل (شاهد حساس) کاملاً به بیماری آلوده شد، به‌روش دو عددی (Double digit system) پیشنهاد شده توسط ایال و همکاران (Eyal *et al.*, 1987) در مقیاس صفر تا ۹۹ انجام شد که عدد اول، میزان پیشرفت عمودی بیماری از برگ‌های پایین به برگ‌های بالای گیاه در مقیاس ساری و پرسکات (Saari and Prescott, 1975) (جدول ۱) و عدد دوم، شدت بیماری (درصد آلودگی سطح برگ به کلونی قارچ) است. در این روش، تیپ‌های آلودگی ۱ تا ۴ به‌عنوان واکنش ناسازگاری (مقاومت) و عدم وجود ناپرآزاری و تیپ‌های آلودگی ۵ تا ۹ به‌عنوان واکنش سازگاری (حساسیت) و وجود پرآزاری در نظر گرفته می‌شود. با توجه به واکنش ارقام، طیف پرآزاری/ناپرآزاری (Virulence/avirulence) جمعیت پاتوژن در مناطق مختلف تعیین و منابع مقاومتی که دارای عامل بیماری‌زایی نبودند، شناسایی شد.

نتایج و بحث

در ایستگاه‌های تحقیقاتی طرق (مشهد)، عراقی‌محله (گرگان)، بابع‌کلا (قائمشهر) و مزرعه تحقیقات غلات (کرج) در هر سه سال اجرای آزمایش (۹۵-۱۳۹۲) شرایط مناسبی برای ظهور و گسترش بیماری سفیدک پودری در خزانه‌های تله فراهم شد. در این مناطق، رقم شاهد حساس (افضل) در اغلب کرت‌های شیوع‌دهنده بیماری، آلودگی ۹۵-۷۱ درصد (حساس تا خیلی حساس) نشان داد که استقرار مناسب بیماری را روی ارقام و لاین‌های حساس نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی سفیدک پودری جو (جدول ۲)، خلاصه وضعیت طیف پرآزاری/ ناپرآزاری جمعیت پاتوژن در مناطق مختلف اجرای آزمایش به‌تفکیک در جدول‌های ۳ تا ۶ ارایه شده است.

جدول ۱- ارزیابی شدت آلودگی به بیماری‌های برگی جو و گندم بر اساس مقیاس ساری و پرسکات (Saari and Prescott, 1975)

Table 1. Evaluation of infection severity of barley and wheat leaf diseases by Saari and Prescott (1975) scale

Infection type	Plant reaction
0	Free from infection
OE	Free from infection, but probably represents an escape
1	Resistant: A few isolated lesions on only the lowest leaves.
2	Resistant: Scattered lesions on the second set of leaves with first leaves lightly infected
3	Resistant: Light infection of lower third of plant; lowermost leaves infected at moderate to severe levels.
4	Moderately resistant: Moderate infection of lower leaves with scattered to light infection extending to the leaf immediately below the middle of the plant
5	Moderately susceptible: Severe infection of lower leaves; moderate to light infection extending only to the middle of the plant.
6	Moderately susceptible: Severe infection on lower third of plant, moderate on middle leaves and scattered lesions beyond the middle of the plant.
7	Susceptible: Lesions severe on lower and middle leaves with infection extending to the leaf below the flag leaf, or with trace infection on the flag leaf.
8	Susceptible: Lesions severe on lower and middle leaves; moderate to severe infection of upper third of plant; flag leaf infected in amounts more than a trace.
9	Highly susceptible: Severe infection on all leaves; spikes also infected to some degree.

جدول ۲- اطلاعات لاین‌های ایزوژنیک افتراقی و واکنش آن‌ها نسبت به سفیدک پودری در مناطق مشهد، گرگان، قائمشهر و کرج در سه سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۳

Table 2. Information of differential isogenic lines and their reaction to powdery mildew in Mashhad, Gorgan, Ghaemshahr and Karaj during three consecutive cropping seasons (2014-2016)

No	Cultivar	Resistance gene (s)	Mashhad			Gorgan			Ghaemshahr			Karaj		
			2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
1	Pallas	*Mla8*	0	35	51	0	32	32	0	0	0	11	21	22
2	P01	*Mla1, Ml(A12)*	0	0	51	0	11	56	0	0	0	11	43	21
3	P02	*Mla3*	11	0	53	0	11	0	31	0	0	11	43	21
4	P03	*Mla6, Mla14*	0	0	31	0	0	55	31	0	0	11	21	21
5	P04B	*Mla7, Ml(No3)*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	22
6	P08B	*Mla9*	0	0	0	0	0	35	0	0	0	11	22	44
7	P09	*Mla10, Ml(Du2)*	0	0	0	31	52	35	0	0	0	34	23	22
8	P10	*Mla12, Ml(Em2)*	35	0	0	31	52	33	0	0	0	33	12	33
9	P11	*Mla13, Ml(Ru3)*	0	0	0	31	12	0	0	0	0	31	22	23
10	P12	*Mla22*	52	51	71	31	34	56	0	0	0	34	32	23
11	P13	*Mla23*	38	0	52	32	11	55	0	0	0	33	22	33
12	P16	*Mlk*	58	0	72	76	58	76	0	76	52	75	63	44
13	P17	*Mlk(1)*	51	31	71	32	54	56	0	0	0	34	42	44
14	P19	*Mlp*	51	35	76	32	11	56	0	52	0	33	33	43
15	P20	*Mlat*	51	31	55	11	58	58	31	51	31	11	54	65
16	P21	*Mlg, Ml(CP)*	0	35	51	11	55	56	0	0	0	11	45	32
17	P22	*mlo5*	0	0	11	11	11	0	0	11	11	11	11	11
18	P23	*MlLa*	38	56	58	32	54	56	31	51	32	32	57	54
19	P24	*Mlh*	51	0	58	34	58	58	51	51	31	34	55	53
Afzal (Susceptible check)			71	92	92	97	78	79	76	77	75	97	96	78

وضعیت عامل‌های بیماری‌زایی سفیدک پودری جو در منطقه مشهد

نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی سفیدک پودری جو در ایستگاه تحقیقات طرق در جدول ۳ خلاصه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، واکنش اغلب ارقام افتراقی در سال های مختلف متفاوت بود. در این ایستگاه تحقیقاتی، بیماری‌زایی برای ژن‌های مقاومت *Mla14*، *Mla13*، *Mla10*، *Mla9*، *Mla7*، *Mla6*، *Ml(No3)*، *Ml(Du2)*، *Ml(Ru3)* و *mlo5* در هیچ‌یک از سه سال اجرای آزمایش مشاهده نشد، اما بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Mla22* در هر سه سال اجرای آزمایش وجود داشت. سایر ژن‌های مقاومت در سال‌های مختلف واکنش متفاوتی از خود نشان دادند.

وضعیت عامل‌های بیماری‌زایی سفیدک پودری جو در منطقه گرگان

نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی جو در ایستگاه تحقیقات عراقی‌محله گرگان در جدول ۴ خلاصه شده است. برای ژن‌های مقاومت *Mla3*، *Mla7*، *Mla8*، *Mla9*، *Mla13*، *Ml(No3)*، *Ml(Ru3)* و *mlo5* در هیچ‌یک از سه سال اجرای آزمایش در منطقه گرگان بیماری‌زایی مشاهده نشد، اما بیماریزایی برای ژن مقاومت *Mlk* در هر سه سال مشاهده شد. سایر ژن‌های مقاومت نیز در سال‌های مختلف واکنش متفاوتی از خود نشان دادند.

وضعیت عامل‌های بیماریزایی سفیدک پودری جو در منطقه قائمشهر

نتایج ارزیابی لاین‌های افتراقی مورد مطالعه در ایستگاه تحقیقات بایع‌کلا (قائمشهر) در جدول ۵ خلاصه شده است. در این منطقه، بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Mlh* در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، برای ژن‌های مقاومت *Mlk*، *Mlp*، *Mlat*، *MlLa* و *Mlh* در سال ۹۴-۱۳۹۳ و برای ژن مقاومت *Mlk* در سال ۹۵-۱۳۹۴ مشاهده شد. نکته مهم این بود که در این منطقه برای هیچ‌یک از ژن‌های مقاومت در هر سه سال اجرای آزمایش بیماری‌زایی مشاهده نشد. همچنین، برای ژن‌های مقاومت *Mla1*، *Mla3*، *Mla6*، *Mla7*، *Mla8*، *Mla9*، *Mla10*، *Mla12*، *Mla13*، *Mla14*، *Mla22*، *Mla23*، *Ml(A12)*، *Ml(No3)*، *Ml(Ru3)*، *Ml(Du2)*، *Ml(Em2)*، *Ml(CP)*، *Mlk(1)*، *mlo5* و *Mlg* در این منطقه در هیچ‌یک از سه سال بیماری‌زایی مشاهده نشد.

سایر ژن‌های مقاومت نیز در سال‌های مختلف واکنش متفاوتی داشتند.

وضعیت عامل‌های بیماریزایی سفیدک پودری جو در منطقه کرج

نتایج ارزیابی لاین‌های مورد مطالعه جو در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر درکرج در جدول ۶ خلاصه شده است. در این منطقه، برای ژن مقاومت *Mlk* در سال ۹۳-۱۳۹۲، برای ژن‌های *Mlat*، *MlLa*، *Mlh* و *Mlk* در سال ۹۴-۱۳۹۳ و برای ژن‌های *Mlat* ، *MlLa* و *Mlh* در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مشاهده شد. در این منطقه نیز برای هیچ‌کدام از ژن‌های مقاومت در هر سه سال اجرای آزمایش بیماری‌زایی مشاهده نشد. برای ژن‌های مقاومت *Mla1*، *Mla3*، *Mla6*، *Mla7*، *Mla8*، *Mla9*، *Mla10*، *Mla12*، *Mla13*، *Mla14*، *Mla22*، *Mla23*، *Ml(A12)*، *Ml(Em2)*، *Ml(Ru3)*، *Ml(No3)*، *Ml(Du2)*، *Ml(CP)*، *Mlk(1)*، *mlo5*، *Mlp* و *Mlg* در هیچ سالی بیماری‌زایی مشاهده نشد و این ژن‌ها در هر سه سال موثر بودند. سایر ژن‌های مقاومت در سال‌های مختلف واکنش متفاوتی از خود نشان دادند.

نتایج ارزیابی سری تکمیلی منابع ژنتیکی مقاومت به سفیدک پودری

در این بررسی یک سری تکمیلی شامل ۳۴ رقم با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص (Hovmøller *et al*., 2000) به‌همراه لاین‌های تقریباً ایزوژنیک افتراقی سفیدک پودری جو در خزانه‌های تله بررسی شدند. اطلاعات مربوط به ژن یا ژن‌های مقاومت به سفیدک پودری موجود در این ارقام در جدول ۷ ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ۲۲ رقم در سه سال اجرای آزمایش در هر چهار منطقه مشهد، گرگان، قائمشهر و کرج واکنش مقاومت نشان دادند و نه رقم نیز حداقل در دو منطقه و در یک سال واکنش حساس (یا نیمه‌حساس) داشتند. بر اساس نتایج این بررسی در مناطق مورد مطالعه، بیماری‌زایی برای ژن‌های مقاومت *Mla6*، *Mla9*، *Mla12*، *Mla14*، *Ml(St1)*، *Ml(St2)*، *Mlk*، *Ml(Em2)* و *MlLa* مشاهده شد و این ژن‌ها غیرموثر بودند. همچنین، اغلب ژن‌های مقاومتی که در لاین‌های تقریباً ایزوژنیک افتراقی غیرموثر بودند، در سری تکمیلی نیز برای آن‌ها بیماریزایی مشاهده شد. برای مثال ارقام Lofa Abed، Varunda و Vada که دارای ژن مقاومت *MlLa* هستند، در هر دو گروه غیرموثر بودند. در عین حال

بعضی از ژن‌های مقاومتی که در زمینه ژنتیکی پالاس غیرموثر بودند، در زمینه ژنتیکی ارقام سری تکمیلی موثر ارزیابی شدند که از جمله می‌توان به ژن مقاومت *Mlg* در رقم Adel اشاره کرد. نتایج ارزیابی سری تکمیلی نیز نشان داد که ترکیبی از دو یا چند ژن مقاومت غیرموثر ممکن است سطح بالایی از مقاومت ایجاد کنند. رقم Escort که دارای ترکیبی از ژن‌های *Mla7*، *Mlk*، *MlL* و *Mlg* است، در هر سه سال اجرای آزمایش و در هر چهار منطقه مقاوم ارزیابی شد. ارقامی که در سری تکمیلی در همه مناطق مقاوم بودند، می‌توانند به‌عنوان والدین مقاوم دارای منابع مقاومت جدید در برنامه‌های به‌نژادی تولید ارقام مقاوم به سفیدک پودری مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۳- خلاصه نتایج ارزیابی لاین های ایزوژنیک افتراقی سفیدک پودری جو در ایستگاه طرق (مشهد)

Table 3. Summary of results of evaluation of barley powdery mildew differential lines in Torogh Agricultural Research station, Mashhad, Iran

	2013-14	2014-14	2014-15	Three years
Effective R genes	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla23, Mlg, Ml(CP), mlo5, MlLa*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), mlo5, Mlh*	*Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3),*	*Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla13, Ml(Ru3), mlo5*
Ineffective R genes	*Mla22 ,Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlh*	*Mla22, MlLa*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla22, Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), MlLa, Mlh*	*Mla22*

جدول ۴- خلاصه نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی سفیدک پودری جو در ایستگاه عراقی محله (گرگان)

Table 4. Summary of the results of evaluating barley powdery mildew differential lines in Araghimahale Agricultural Research Station, Gorgan, Iran

	2013-14	2014-15	2015-16	Three years
Effective R genes	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3 Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP) mlo5, MlLa, Mlh*	*Mla8,Mla1, Ml(A12), Mla3,Mla6, Mla14, Mla7,Ml(No3),Mla9, Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, Mlp, mlo5*	*Mla8,Mla3, Mla7, Ml(No3),Mla9,Mla10,Ml(Du2) ,Mla12,Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), mlo5*	*Mla8,Mla3, Mla7, Ml(No3), Mla9,Mla13, Ml(Ru3), mlo5*
Ineffective R genes	*Mlk*	*Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mlk, Mlk(1), Mlat, Mlg, Ml(CP), MlLa, Mlh*	*Mla1, Ml(A12), Mla6, Mla14, Mla22, Mla23, Mlk, Mlk(1), Mlp, Mlat, Mlg, Ml(CP), MlLa, Mlh*	*Mlk*

جدول ۵- خلاصه نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی سفیدک پودری جو در ایستگاه بایع‌کلا (قائمشهر)

Table 5. Summary of the results of evaluating barley powdery mildew differential lines in Bayekola Agricultural Research Station, Ghaemshahr, Iran

	2013-14	2014-15	2015-16	Three years
Effective R genes	*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*	*Mla8, Mla1, Ml(A1), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, Mlk(1), Mlg, Ml(CP), mlo5*	*Mla8, Mla1, Ml(A1), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, 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), Mlg, Ml(CP), mlo5*
Ineffective R genes	*Mlh*	*Mlk, Mlp, Mlat, MlLa,Mlh*	*Mlk*	-

جدول ۶- خلاصه نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی سفیدک پودری جو در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
Table 6. Summary of the results of evaluating barley powdery mildew differential lines in Seed and Plant Improvement Research Institute, Karaj, Iran

	2013-14	2014-15	2015-16	Three years
Effective R genes	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, 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), Mlp, Mlg, Ml(CP), 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, Mlg, Ml(CP), mlo5*	*Mla8, Mla1, Ml(A12), Mla3, Mla6, Mla14, Mla7, Ml(No3), Mla9, Mla10, Ml(Du2), Mla12, Ml(Em2), Mla13, Ml(Ru3), Mla22, Mla23, Mlk(1), Mlp, Mlg, Ml(CP), mlo5*
Ineffective R genes	*Mlk*	*Mlk,Mlat, MlLa,Mlh*	*Mlat, MlLa,Mlh*	-

وضعیت تغییرات فاکتورهای بیماریزایی سفیدک پودری جو

در مورد تعدادی از بیماری های برگی غلات از جمله زنگ‌ها و سفیدک پودری، استفاده از خزانه‌های تله شامل ارقام افتراقی و منابع ژنتیکی با ژن (ژن های) مقاومت مشخص در شرایط آلودگی طبیعی مزرعه‌ای برای تعیین تنوع ژنتیکی موجود در جمعیت محلی پاتوژن و مقایسه طیف بیماری‌زایی جمعیت پاتوژن در مناطق مختلف به‌کار می‌رود. این‌گونه بررسی‌ها علاوه بر اینکه تغییرات به‌وجود آمده در جمعیت پاتوژن که منجر به وقوع ویرولانس برای ژن‌های مقاومت موثر و در نتیجه شکستن (غیرموثر شدن) این ژن‌ها شده است را مورد بررسی قرار می‌دهد، منابع مقاومت موثر که برای آن‌ها در جمعیت پاتوژن ویرولانس وجود ندارد را جهت برنامه‌ریزی و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های دورگ‌گیری در اختیار به‌نژادگر قرار می‌دهد.

نتایج ارزیابی لاین‌های تقریباً ایزوژنیک افتراقی و سری تکمیلی شامل ارقام با ژن (ژن‌های) مقاومت مشخص در ایستگاه‌های تحقیقاتی چهار منطقه از کشور شامل مشهد، گرگان، قائم‌شهر و کرج طی سه سال زراعی نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی در جمعیت محلی بیمارگر سفیدک پودری جو در سال های مختلف بود. ژن های مقاومت *Mlk(1)*، *Mlp*، *Mlat*، *MlLa*، *Mlh* ، *Mla22* و *Mlk* دارای بیش‌ترین فراوانی ویرولانس در مناطق اجرای آزمایش بودند و به‌عنوان ژن‌های مقاومت غیرموثر در ایران گزارش می‌شوند. نتایج بررسی عامل‌های بیماری‌زایی سفیدک پودری جو در نواحی مختلف کشور طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ نشان داد که بیماری‌زایی برای ژن *Mlk* دارای بیش‌ترین پراکنش در ایران بود. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Mlp* فقط در یکی از جدایه‌های جمع‌آوری شده از منطقه اردبیل مشاهده شد و این ژن در خزانه‌های تله در تمام مناطق اجرای آزمایش در ۱۱ منطقه کشور موثر بود (PatPour *et al.* 2003, 2005). بر اساس نتایج تحقیق حاضر، وجود بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Mlp* در اغلب مناطق اجرای آزمایش به‌جز کرج در حداقل یک سال نشان‌دهنده ظهور عامل بیماری‌زایی جدید برای این ژن در مناطق مشهد، گرگان و قائم‌شهر می‌باشد. بر اساس نتایج تحقیقات قبلی (PatPour *et al.* 2003, 2005) بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *MlLa*، فقط در منطقه کرج مشاهده شده است، در حالی‌که نتایج این تحقیق نشان‌دهنده ظهور عامل‌های بیماری‌زایی جدید برای این ژن در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر است. همچنین ژن‌های مقاومت *Mla3*، *Mla6*، *Mla7*، *Mlg* و *MlCP* قبلاً در تمام مناطق مورد بررسی موثر بوده‌اند (PatPour *et al*., 2003, 2005)، در حالی‌که نتایج این تحقیق، وجود پرآزاری برای ژن های مقاومت *Mlg* و *MlCP* را در مشهد و گرگان نشان داد. در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ نیز برای ژن مقاومت *Mla6* که به‌همراه ژن مقاومت *Mla14* در لاین ایزوژنیک P03 وجود دارد، در گرگان و برای ژن مقاومت *Mla3* در مشهد بیماری‌زایی مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که ژن‌های مقاومت *Mla7*، *Mla9*، *Mla13*، *mlo5*، *Ml(Ru3)* و *Ml(No3)* در همه مناطق اجرای آزمایش، ژن‌های مقاومت *Mla10*، *Mla12*، *Ml(Em2)* و *Ml(Du2)* در همه مناطق به‌جز گرگان و ژن مقاومت *Mla8* در همه مناطق اجرای آزمایش به‌جز مشهد موثر بودند.

جدول ۷- نتایج ارزیابی سری تکمیلی به سفیدک پودری در مناطق مشهد، گرگان، قائمشهر و کرج در سه سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۳

Table 7. Reactions of supplementary set to powdery mildew in Mashhad, Gorgan, Ghaemshahr and Karaj during three consecutive cropping season (1393-95)

No	Cultivar	Resistance gene (s)	Mashhad			Gorgan			Ghaemshahr			Karaj			Reaction‡
			93	94	95	93	94	95	93	94	95	93	94	95	
1	Digger	*Mla13, Ml(Ru3)*	0	0	0	33	11	0	0	0	0	45	21	21	R
2	Punto	*Mla3, Ml(Tu2), Ml(Im9), Ml(Hu4)*	0	33	0	11	0	0	0	0	0	11	0	21	R
3	Hennie	*Mla7, U*	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	0	21	R
4	Goldie	*Mla12, MlLa, U*	15	0	0	11	0	35	0	0	0	31	21	11	R
5	Tofta	*Mla13, Ml(Im9)*	0	0	0	34	11	0	0	0	0	31	25	22	R
6	Meltan	*Mla13, Ml(Im9), Ml(Hu4)*	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	0	12	R
7	Jarek	*MlLa, Ml(Kr)*	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	21	22	R
8	Steffi	*Ml(St1), Ml(St2)*	0	0	0	52	0	0	0	0	0	52	12	11	S
9	Optima	*U1*	0	0	0	11	0	0	0	0	0	33	22	12	R
10	Scarlett	*U2*	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	22	R
11	Tyra	*Mla1, Ml(Al2)*	0	0	31	32	32	0	0	31	31	33	12	11	R
12	Simon	*Mla9, Mlk*	52	58	53	31	52	58	0	31	31	31	42	53	S
13	Midas	*Mla6, Mla14*	32	0	35	53	31	59	0	31	31	59	35	23	S
14	Hassan	*Mla12, Ml(Em2)*	35	0	31	51	53	58	31	31	31	51	12	24	S
15	H. 1063	*Mlk*	51	33	32	76	54	58	51	51	31	95	22	11	S
16	Lofa Abed	*MlLa*	32	55	56	54	54	59	0	31	32	59	33	32	S
17	Varunda	*MlLa*	38	58	51	11	34	0	0	31	31	11	23	22	S
18	Zephyr	*Mlg, Ml(CP)*	0	32	31	0	52	59	0	31	31	0	33	21	S
19	Vada	*MlLa*	31	56	58	0	34	0	0	31	31	11	12	33	S
20	Adele	*Mlg*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	21	22	R
21	Escort	*Mlg, Mla7, Mlk, MlLa*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	12	R
22	Ariel	*Mla12*	0	0	0	54	54	76	53	54	31	59	0	12	S
23	Viskosa	*mlo* †	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	0	22	R
24	Wren	*mlo* †	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	21	R
25	L94	*mlo11*	0	0	0	0	0	35	0	31	32	11	0	45	R
26	Alexis	*mlo9*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	21	R
27	Brenda	*mlo11*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	22	R
28	Chalice	*mlo11*	0	0	31	0	0	0	0	0	0	11	21	21	R
29	Bond	†	0	31	0	0	31	0	0	31	0	13	12	13	R
30	Canut	†	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	21	11	R
31	Dialog	†	0	0	72	0	52	0	0	31	31	0	46	32	S
32	Fusion	†	0	0	0	0	0	0	0	0	31	11	22	21	R
33	Princess	†	0	0	72	0	0	0	31	0	0	0	23	22	S
34	Prisma	†	0	0	0	32	0	0	0	0	0	32	12	32	R

†: Unknown resistance gene (s)

‡: R, resistant, cultivars that showed resistant reaction in all three years and all locations; S, susceptible, cultivars that showed susceptible reaction at least in one location.

نتایج ارزیابی سری تکمیلی در مناطق مختلف کشور نشان‌دهنده موثر بودن مقاومت ارقام Brenda، Chalice، Bond، Viskosa، Wren L94 و Alexis در همه مناطق مورد بررسی بود. کلیه این ارقام به‌جز رقم Bond دارای یکی از آلل‌های ژن مقاومت *mlo* هستند. ژن مقاومت *mlo* (mildew resistance locus O) به‌عنوان منبع مقاومت به بیماری سفیدک پودری جو اولین بار در سال ۱۹۴۲ در جهش یافته‌های جو که در معرض اشعه ایکس قرار گرفته بودند، کشف شد. از آن زمان تا کنون ۳۲ آلل مختلف این ژن (*mlo1-mlo32*) در جو به روش استفاده از مواد القاکننده جهش شناسایی شده است. علاوه بر این، در اوایل دهه ۱۹۷۰ یک جهش یافته طبیعی این ژن در یک توده بومی جو جمع‌آوری شده از اتیوپی شناسایی شد (Jørgensen, 1992, 1994). مقاومت تک‌ژنی ایجاد شده توسط این ژن به‌علت موثر بودن علیه همه نژاد های فیزیولوژیک شناخته شده بیمارگر و پایداری مقاومت

جاذبه زیادی برای به‌نژادگران جو داشته است. از سال ۱۹۷۰ تا کنون آلل‌های مختلف این ژن به‌طور گسترده در برنامه‌های به‌نژادی جو مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این ژن تا کنون در بیش از ۱۴۵ رقم جو به‌عنوان منبع مقاومت به بیماری سفیدک پودری مورد استفاده قرار گرفته است، به‌طوری‌که ارقام دارای ژن مقاومت *mlo* بیش از ۶۰ درصد سطح زیر کشت جو بهاره در کشورهای اروپای مرکزی و اروپای غربی را به‌خود اختصاص داده‌اند. در حال حاضر این ژن تنها منبع مقاومت به بیماری سفیدک پودری است که نژادهای با قدرت بیماری‌زایی بالا برای آن گزارش نشده است. بر اساس نتایج این تحقیق، علاوه بر ژن *mlo*، ژن‌های مقاومت *Mla7*، *Mla9*، *Mla10*، *Mla12*، *Mla13*، *Ml(Du2)*، *Ml(No3)*، *Ml(Ru3)* و *Ml(Em2)* به‌عنوان منابع مقاومت موثر جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو اقلیم معتدل و سرد کشور شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق عامل‌های بیماری‌زایی در جمعیت قارچ عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مهم شیوع این بیماری در شمال شرق و شمال کشور و منابع جدید مقاومت به بیماری شناسایی شد. نتایج ارزیابی لاین‌های ایزوژنیک افتراقی و سری تکمیلی در مناطق مشهد، گرگان، قائم‌شهر و کرج طی سه سال زراعی نشان‌دهنده وجود تنوع عامل‌های بیماری‌زایی در جمعیت محلی پاتوژن در این مناطق بود. نتایج ارزیابی سری تکمیلی در مناطق مختلف کشور نشان‌دهنده موثر بودن مقاومت ارقام Brenda، Chalice، Bond، Viskosa، Wren L94 و Alexis در همه مناطق مورد بررسی بود. ژن‌های مقاومت *Mlk* و *Mla22*، *Mlh*، *MlLa*، *Mlat*، *Mlp*، *Mlk(1)* دارای بیش‌ترین فراوانی پرآزاری در مناطق اجرای آزمایش بودند و به‌عنوان ژن‌های مقاومت غیرموثر در ایران گزارش می‌شوند. بیماری‌زایی برای ژن مقاومت *Mlp* که قبلاً در اغلب مناطق کشور موثر بوده است، در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر مشاهده شد. نتایج این بررسی همچنین نشان‌دهنده ظهور عامل‌های بیماری‌زایی جدید برای ژن مقاومت *MlLa* در مناطق مشهد، گرگان و قائمشهر، بیماری‌زایی برای ژن‌های مقاومت *Mlg* و *MlCP* در مشهد و گرگان و بیماری‌زایی برای ژن *Mla3* در مشهد بود. بر اساس نتایج این بررسی، ژن‌های مقاومت *Mla7*، *Mla9*، *Mla10*، *Mla12*، *Mla13*، *mlo5*، *Ml(Du2)*، *Ml(Em2)*، *Ml(No3)* و *Ml(Ru3)* به‌عنوان منابع مقاومت موثر جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو به‌منظور معرفی ارقام مقاوم جدید شناسایی شدند.

سپاسگزاری

این مقاله از گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی تحت عنوان "پایش فاکتورهای بیماری‌زایی قارچ *Blumeria graminis* f.sp. *hordei* عامل بیماری سفیدک پودری جو در مناطق مختلف ایران" با شماره مصوب ۹۲۲۳۱-۰۳-۴۳-۰۱ استخراج شده است. نویسندگان از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به خاطر فراهم کردن شرایط اجرای این تحقیق سپاسگزاری می‌کنند.

References

Ames, N., Dreiseitl, A., Steffenson, B. J. and Muehlbauer, G. J. 2015. Mining wild barley for powdery mildew resistance. **Plant Pathology** 64: 1396-1406.

Behdad, E. 2006. Phytopathology and important plant disease. Atre Etrat Publication. 785 p.

Bihamta, M. R., Khalili Azar, R., PatPour, M. and Shahve, Sh. 2012. Study on pathogenicity factors of barley powdery mildew in some regions of Iran. Proceedings of the 12th Congress of Iranian Genetics Society. 21 May, Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/226719 12. (In Persian).

Brent, K. J. and Hollomon, D. W. 2007. Fungicide resistance in crop pathogens: How can it be managed? FRAC Monograph 1. Second Edition. Brussels, Crop Life International Brussels. 55 p.

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

Czembor, J. H. 2001. Resistance to powdery mildew in selections from barley landraces collected in Greece. **Agricultural and Food Science** 10: 133-142.

Czembor, J. H. and Czembor H. J. 2000. Powdery mildew resistance in selections from Moroccan barley landraces. **Phytoparasitica** 28: 65-78.

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

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. and Vronska, O. 2000. The European barley powdery mildew virulence survey and disease nursery 1993-1999. **Agronomie** 20: 729-743.

Ershad, J. 2009. Fungi of Iran. Third Edition. Iranian Research Institute of Plant Protection. Agricultural Research, Education and Extension Organization. 531 p.

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

Flor, H. 1942. Inheritance of pathogenicity of *Melamp-sora lini*. **Phytopathology** 32 (8): 653-669.

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

Jørgensen, H. 1994. Genetics of powdery mildew resistance in barley. **Critical Review in Plant Sciences** 13: 97-119.

Kokina, I. and Rashal, I. 2006. Monitoring the population of *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* in the south-eastern part of Latvia. **Agronomy Research** 4: 231-236.

Kolster, P., Munk, L., Stolen, O. and Lohde, J. 1986. Near-isogenic barley lines with genes for resistance to powdery mildew. **Crop Science** 26: 903-907.

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

McDonald, B. A. and Linde, C. 2002. The population genetics of plant pathogens and breeding strategies for durable resistance. **Euphytica** 124: 163-180.

Opalski, K. S., Tresch S., Kogel, K. H., Grossmann, K., Kohle, H. and Huckelhoven, R. 2006. Metrafenone: Studies on the mode of action of a novel cereal powdery mildew fungicide. **Pest Management Science** 62: 393-401.

PatPour, M., Aghnoum, R., Dad Rezaei, S. T., Houshyar, R., Dehghan, M. A. and 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, Tehran, Iran. (In Persian).

PatPour, M., Torabi, M., Afshari, F., Aghnoum, R., Dehghan, M. A., Dad Rezaei, S. T. and Ahmadian Moghadam, M. S. 2005. Virulence factores of barley powdery mildew pathogen and their variation in some parts of Iran during 2000-2002. **Seed and Plant** 21 (2): 303-313. (In Persian with English Abstract).

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

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

Tucker, M. A., Jayasena, K., Ellwood, S. R. and Oliver, R. P. 2013. Pathotype variation of barley powdery mildew in western Australia. **Australasian Plant Pathology** 42 (5): 617-623.

Yahyaoui, A. H., Reinhold, M. and 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: 139-146.

doi: 10.22124/cr.2021.18839.1648

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

(Research Article)

Cereal Research
Vol. 10, No. 4, Winter 2021 (339-349)

Identification of the virulence factors of *Blumeria graminis* f.sp *hordei*, the causal agent of barley powdery mildew in northeast and northern regions of Iran

Reza Aghnoum[1*], Mohammad Ali Dehghan[2], Shapoor Ebrahimnejad[3] and Rahim Mehrabi[4]

Received: October 28, 2020 Accepted: February 7, 2021

Abstract

Powdery mildew of barley caused by the fungal pathogen, *Blumeria graminis* f.sp. *hordei*, is one of the most important leaf diseases of barley in Iran. This study was carried out to determine the virulence factors in the population of the fungus causing powdery mildew in major conductive regions of the disease in the northeast and north regions of Iran and to identify new sources of resistance. Trap nurseries (53 lines and cultivars) including cv. Pallas, 18 near-isogenic lines in the background of Pallas and a supplementary set including 34 cultivars carrying known or unknown resistance gene (s) were evaluated against powdery mildew under the natural conditions at four powdery mildew hotspot locations in northeast and north of Iran including Mashhad, Karaj, Gorgan and Ghaemshar, during three consecutive cropping seasons (2014-2016). The results of evaluation of near-isogenic lines and supplementary set in different regions showed that there was a variation in virulence spectrum of the pathogen in these locations. Virulence factors for *Mlk(1), Mlp, Mlat, MlLa, Mlh, Mla22* and *Mlk* resistance genes appear to be common in all locations. These genes are reported as ineffective resistance genes in Iran. Virulence for the *Mlp* gene that was reported to be effective in many regions was appeared in Mashhad, Gorgan and Ghaemshar. The results of this study also indicated that the new virulence factors is appeared for the *MlLa* gene in Mashhad, Gorgan and Ghaemshar, for the *Mlg* and *MlCP* resistance genes in Mashhad and Gorgan and for the *Mla3* resistance gene in Mashhad. The findings of this study indicate that the *Mla7*, *Ml(No3)*, *mlo5 Mla9, Mla13, Ml(Ru3), Mla10*, *Ml(Du2*), *Mla12*, *Ml(Em2)* are effective in Iran and could be used as new sources of resistance in breeding programs.

Keywords: Barley, Genetic variation, Isogenic lines, Pathogenicity factors, Powdery mildew

1. Research Assoc. Prof., Dept. of Seed and Plant Improvement Research, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
2. Researcher, Dept. of Seed and Plant Improvement Research, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
3. Researcher, Dept. of Seed and Plant Improvement Research, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sari, Iran
4. Research Assoc. Prof., Dept. of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (The present address: Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran)
[*] Corresponding author: r.aghnoum@areeo.ac.ir