

DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2021.13545>تعیین پاتوتیپ‌ها و نژادهای فیزیولوژیک قارچ *Puccinia triticina* عامل بیماری زنگ قهوه‌ای گندم در

ایران

سید طه دادرضائی^۱، صبا دلفان^۲، الهام الاحسنی^۱^۱بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ^۲گروه اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. Tahareza2000@yahoo.com

پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۵

بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۱۱

دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۹

چکیده

به‌منظور اطلاع از نژادهای جدید، تعیین پرازاری و ژنتیک بیماری‌زایی عامل زنگ قهوه‌ای و نحوه پراکنش آن در مناطق مختلف ایران، در بهار سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ به ترتیب ۲۱ و ۴۰ نمونه برگ آلوده به زنگ قهوه‌ای از مزارع گندم استان‌های خوزستان، لرستان، اردبیل، مازندران، گلستان، کرمانشاه، ایلام، سیستان و بلوچستان و فارس جمع‌آوری شد. واکنش جدایه‌های مورد نظر از طریق مایه‌زنی آنها روی ۳۸ لاین افتراقی در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای بررسی گردید. هر لاین حاوی یک ژن مقاومت به زنگ قهوه‌ای گندم است. نتایج این تحقیق منجر به شناسایی ۲۰ پاتوتیپ و ۱۳ نژاد در سال اول و ۲۸ پاتوتیپ و ۱۱ نژاد در سال دوم شد. نژادهای PKTTS (با فراوانی ۲۸ درصد) و PKTTT (با فراوانی ۱۸ درصد) شایع‌ترین نژادهای شناخته شده بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام افتراقی حامل ژن‌های مقاومت *Lr9* و *Lr19* نسبت به تمام جدایه‌های مورد مطالعه مقاوم بودند و پرازاری بر روی آنها مشاهده نشد. رقم حامل ژن *Lr2a* با واکنش مقاوم نسبت به ۱۷ جدایه، موثرترین ژن مقاومت نسبت به زنگ قهوه‌ای گندم پس از دو ژن مذکور بود. همچنین ارقام افتراقی حامل ژن‌های *Lr29*، *Lr28*، *Lr10/Lr27+/Lr31* و *Lr2b* با داشتن مقاومت در مقابل اکثر جدایه‌ها در طی دو سال موثرترین ژن‌های مقاومت نسبت به زنگ قهوه‌ای گندم پس از ژن‌های *Lr9*، *Lr19* و *Lr2a* بودند.

کلمات کلیدی: ارقام افتراقی، پرازاری، ناپرازاری، زنگ قهوه‌ای، ژن‌های مقاومت

Determination of pathotypes and physiologic races of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust in Iran

Seyed Taha Dadrezaei¹✉, Saba Delfan², Elham Allahassani¹¹Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. ²Department of Plant Breeding, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Tehran, Iran. ✉Tahareza2000@yahoo.com

Received: 9 June 2021

Revised: 2 July 2021

Accepted: 27 July 2021

Abstract

In order to identify the new races, determine the virulence/avirulence formula and distribution of the causal agent of the wheat, in the spring of 2018 and 2019, respectively, 21 and 40 samples of leaf rust-infected leaves were collected from wheat fields in Khuzestan, Lorestan and Ardabil Mazandaran, Golestan, Kermanshah, Ilam, Sistan, Baluchistan and Fars provinces. The reaction of the isolates were evaluated by inoculating them on 38 differential lines under controlled greenhouse conditions. The results of this study led to the identification of 20 pathotypes and 13 races in the first year and 28 pathotypes and 11 races in the second year. PKTTS (28%) and PKTTT (18%) were the most prevalent races. The results of this study showed that differential cultivars carrying *Lr19* and *Lr9* resistance genes were resistant to all isolates and no virulence was observed on them. *Lr2a* gene with resistance reaction to 17 isolates was the most effective gene for resistance to wheat leaf rust after the two above-mentioned genes. Also, differential lines carrying *Lr29*, *Lr10/Lr27+/Lr31* and *Lr2b* genes with resistance reaction to the majority of the isolates in two years were the most effective genes for resistance to wheat brown rust after *Lr9*, *Lr19* and *Lr2a* genes.

Keywords: Brown Rust, Differential Lines, Resistance Genes, Virulence, Avirulence

How to cite:

Dadrezaei ST, Delfan S, Allahassani E, 2022. Determination of pathotypes and physiologic races of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust in Iran. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11 (3): 1–15.

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین غله در ایران بوده و در شش میلیون و هفتصد هزار هکتار از اراضی کشور با تولید سالانه ۱۴/۵ میلیون تن کشت می‌شود (FAO 2020). زنگ قهوه‌ای گندم (Brown rust) یا زنگ برگ (Leaf rust) که توسط قارچ *Puccinia triticina* Eriks ایجاد می‌شود، از لحاظ وسعت پراکندگی و میزان خسارت در دنیا، مهم‌ترین بیماری گندم است (Kolmer 2013). این بیماری در ایران از نظر اهمیت پس از بیماری زنگ زرد گندم (*P. striiformis* f. sp. *tritici*) قرار دارد با این تفاوت که گستردگی آن از زنگ زرد بیشتر است و در سال‌هایی که به‌صورت همه‌گیر ظاهر شده باعث کاهش چشمگیر محصول در مناطق جنوب، غرب و شمال کشور می‌شود (Torabi et al. 2003). در شرایط مساعد محیطی کاهش عملکرد ناشی از زنگ قهوه‌ای در ارقام حساس ممکن است تا ۵۰ درصد نیز برسد (German et al. 2007).

اصلاح مقاومت و کاشت ارقام مقاوم موثرترین، آسان‌ترین و اقتصادی‌ترین و از نظر زیست‌محیطی ایمن‌ترین روش مدیریت زنگ قهوه‌ای گندم برای به حداقل رساندن کاهش سالانه عملکرد دانه می‌باشد (Kolmer 2013; Draz et al. 2015). تجزیه و تحلیل ساختار ژنتیکی جمعیت بیمارگر، برای اتخاذ یک تصمیم مناسب و درست برای برنامه‌ریزی و مسیر برنامه‌های به‌نژادی موفق بسیار مهم است. زنگ‌ها از نظر پرازاری به میزان بالایی تغییرپذیر هستند، زیرا قابلیت تکامل داشته و نژادهای پرازار جدید تولید می‌کنند و فراوانی و توزیع نژادهای موجود قبلی را تغییر می‌دهند. بیمارگر زنگ قهوه‌ای سیکل زندگی کاملی دارد که شامل پنج مرحله اسپوری و میزبان‌های جایگزین مثل *Thalictrum speciosissimum* می‌باشد (Jin 2011). به‌علاوه بیمارگر نژادهای فیزیولوژیک متعدد دارد که توسط الگوی پرازاری روی ارقام افتراقی قابل تشخیص هستند (Figueroa et al. 2020). علاوه بر این تلاقی سوماتیکی منجر به ظهور نژادهای فیزیولوژیک جدید خواهد شد. ترکیب نژادهای مختلف روی میزبان حساس یکسان، تحت شرایط مزرعه‌ای ممکن است نقل و انتقال هسته‌ای را تسهیل کرده و منجر به ظهور نژادهای جدید شود (McIntosh et al. 2003). همچنین جهش، مهاجرت و فشار انتخاب توسط ژن‌های مقاومت نقش مهمی در ظهور نژادهای جدید تحت شرایط محیطی مساعد خواهد داشت (Figueroa et al. 2020). در نتیجه ظهور نژادهای جدید، ارقام

مقاوم قبلی حساس شده و باعث خسارت به محصول گندم می‌شود و از چرخه کشت باید خارج شوند.

در زمینه تعیین نژاد و فاکتورهای بیماری‌زایی زنگ قهوه‌ای، تحقیقات وسیعی در بسیاری از نقاط جهان انجام شده است. لاین‌های تقریباً ایزوژن (Near isogenic) تهیه شده با استفاده از گندم حساس رقم تاجر (Thatcher) که ارقام افتراقی برای شناسایی ژن‌های مقاومت عامل زنگ برگ گندم هستند، برای اولین بار توسط دیک (P.L. Dyck) توسعه یافتند (McIntosh et al. 1995). این ارقام که تحت عنوان ارقام افتراقی نیز نامیده می‌شوند، به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های مربوط به تفاوت‌های پرازاری موجود در جمعیت‌های قارچ *P. triticina* ژنتیک عامل بیماری زنگ قهوه‌ای گندم و ارتباطات ژنتیکی بین میزبان و بیمارگر، استفاده می‌شوند. بر اساس الگوی پرازاری/ناپرازاری ۳۸ لاین ایزوژنیک یا رقم مونو ژن که هر کدام تنها حامل یک ژن مقاومت هستند پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای شناسایی می‌شوند و این پاتوتیپ‌ها با استفاده از روش نامگذاری نژادها (Long & Kolmer 1989) در گروه‌های مختلفی به‌عنوان نژاد گروه‌بندی می‌شوند. جهت تعیین نژادهای زنگ قهوه‌ای بر اساس الگوی پرازاری/ناپرازاری روی ۲۰ لاین در ۵ مجموعه چهار رقمی ارقام افتراقی به‌وسیله پنج کد حرفی (از B تا T) مشخص می‌گردند. در اکثر نقاط دنیا برای تعیین نژاد و فرمول پرازاری از این الگو استفاده می‌شود.

کشور ایران در بخش شمال شرقی منطقه هلال حاصلخیز قرار گرفته، منطقه‌ای که میزبان‌های اولیه (*Triticum aestivum*) و میزبان‌های واسط (*T. speciosissimum*) زنگ قهوه‌ای گندم هم‌پوشانی دارند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که خاستگاه اولیه *P. triticina* احتمالاً قسمتی از منطقه هلال حاصلخیز در جنوب غربی آسیا بوده است، جایی که هر دو نوع تولید مثل جنسی و غیرجنسی رخ می‌دهد. بر همین اساس جمعیت زنگ‌ها دو ویژگی اصلی دارند که انجام پایش مداوم را ضروری می‌کند. اول نژادهای جدید می‌توانند از یک ناحیه رشد گندم به ناحیه دیگر هم از طریق باد هم فعالیت‌های تصادفی بشر منتقل شوند که قرنطینه کردن تقریباً غیرممکن بوده که نیاز واضح را برای پایش منظم در سطح جهانی، منطقه‌ای و ملی می‌رساند. دوم بیمارگرهای زنگ توانایی بیش از حدی برای تغییر و تکامل نژادهای جدید از طریق نوترکیبی جنسی و جهش دارند. بنابراین تاثیر تغییر نژاد روی ارقام تجاری،

برگی آلوده به زنگ قهوه‌ای گندم جمع‌آوری گردید. این پژوهش در شرایط کنترل شده گلخانه‌ای و در مرحله گیاهچه‌ای اجرا شد. هر لاین یا رقم مونوزن تنها حامل یک ژن مقاومت مشخص (*Lr gene*) به بیماری زنگ قهوه‌ای می‌باشد. نمونه‌ها به شکل برگ‌های آلوده به زنگ قهوه‌ای جمع‌آوری شده و در هوای آزاد در حرارت ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. پس از ثبت مشخصات و اختصاص یک کد شناسایی به واحد پاتولوژی بخش تحقیقات غلات منتقل و در یخچال نگهداری گردیدند. نمونه‌های برگ‌ی ابتدا تحریک به اسپورزایی شده، سپس اسپوره‌های تولید شده روی رقم حساس بولانی تکثیر شد. در پاییز برای تحریک نمونه‌های جمع‌آوری شده به اسپورزایی مجدد به روش Kolmer (1997) تکثیر اسپور نمونه‌ها انجام و از هر نمونه به مقدار ۲ گرم اسپور تهیه گردید.

برای شناسایی ساختار پرآزاری بر اساس فرمول پرآزاری /ناپرآزاری، ۳۸ لاین و یا رقم مونوزن که لیست کامل ژن‌های مورد استفاده ارقام افتراقی در این مطالعه در جدول شماره ۱ آورده شده است، در گلدان‌هایی به قطر ۱۵ سانتی‌متر حاوی خاک با ماسه و پیت‌ماس کاشته شده و سپس گیاهچه‌های ۱۰ روزه ارقام افتراقی با سوسپانسیون اسپور جدایه‌های قارچ عامل بیماری زنگ قهوه‌ای مایه‌زنی شدند. مانند مرحله تکثیر اسپور بعد از مایه‌زنی، تمامی گلدان‌ها در تاریکخانه در شرایط ۲۰-۱۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت اشباع قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت از تاریکخانه به گلخانه‌ی زنگ قهوه‌ای با دمای ۲۴-۲۲ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. بعد از ۱۴ الی ۱۶ روز پس از مایه‌زنی بر اساس روش Long & Kolmer (1989) با استفاده از مقیاس ۴-۰ که توسط McIntosh *et al.* (1995) اصلاح شده است، تیپ آلودگی ارقام افتراقی یادداشت برداری گردید. تیپ‌های آلودگی سه تا چهار به‌عنوان واکنش حساس و تیپ‌های ۲-۰ به‌عنوان واکنش مقاوم در نظر گرفته شدند

منابع ژنتیکی مادری و لاین‌های منتخب بایستی تعیین شود و منابع جدید مقاومت به نژادهای جدید و شایع، تعیین شود (Riaz *et al.* 2016; Wan *et al.* 2016).

زمانی که یک رقم برای کشت وسیع معرفی می‌شود، نژادهای جدید یا از پیش موجود، به رقم معرفی شده حمله می‌کنند. بنابراین بیماری‌شناسان در کنار به‌نژادگران بایستی تنوع ژنتیکی، انتشار نژاد در مناطق خاص و ژن‌هایی که در مقابل نژاد مورد نظر مقاوم هستند را مطالعه کنند. یک برنامه منظم از پایش پرآزاری زنگ‌های گندم در موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج برای درک پویایی زنگ‌ها که یک الگوی پرآزاری /ناپرآزاری را نشان می‌دهد، هر ساله انجام می‌شود. ارزیابی سالیانه برای پاتوتیپ‌های زنگ قهوه‌ای در مناطق کشت گندم برای مدیریت و شناسایی پاتوتیپ‌های پرآزار که ممکن است به مکان‌های مختلف در کشور وارد شوند لازم است. به‌علاوه این ارزیابی‌ها همچنین اطلاعات ارزشمندی در مورد موثر بودن ژن‌های مقاومت که به‌طور وسیعی در ارقام تجاری استفاده می‌شوند و ژن‌های جدیدی که هنوز به این ارقام وارد نشده‌اند، ارائه خواهد داد (Park *et al.* 2011). بنابراین هدف اصلی از این مطالعه گزارش الگوی پرآزاری جمعیت‌های قارچ عامل بیماری زنگ قهوه‌ای در کشور برای ارائه اطلاعات ارزشمند در مدیریت ژن‌های مقاومت و کمک به برنامه‌های اصلاحی آینده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای تعیین نژادهای زنگ قهوه‌ای از ۲۰ لاین ایزوژنیک (با ۲۰ ژن مقاومت) بر اساس کار Ordoñez *et al.* (2010) و برای تعیین پاتوتیپ یا ساختار پرآزاری /ناپرآزاری از ۳۸ لاین ایزوژنیک (تقریباً به‌همین تعداد ژن مقاومت) به همراه رقم حساس بولانی استفاده شد (جدول ۱).

برای تعیین پاتوتیپ یا شناسایی ساختار پرآزاری و تعیین نژادهای زنگ قهوه‌ای کشور در بهار سال ۱۳۹۷ از مزارع گندم استان‌های خوزستان، لرستان، اردبیل، گلستان، مازندران و خراسان رضوی حدود ۲۱ نمونه برگ‌ی آلوده به زنگ قهوه‌ای و در اوایل بهار سال ۱۳۹۸ از مزارع گندم استان‌های خوزستان، لرستان، اردبیل، گلستان، مازندران، فارس، ایلام، کرمانشاه و سیستان ۴۰ نمونه

جدول ۱. ژن‌های مقاومت و لاین‌های افتراقی مورد استفاده برای تعیین پاتوتیپ‌ها و نژادهای فیزیولوژیک زنگ قهوه‌ای گندم.

Table 1. *Lr* genes and differential lines used to determine pathotypes and physiologic races of wheat leaf rust.

No.	Name/Pedigree	<i>Lr</i> gene/s
1	Thatcher	<i>Lr22b</i>
2	TC*6/CENTENARIO (RL6003)	<i>Lr1</i>
3	TC*6/WEBSTER (RL6016)	<i>Lr2a</i>
4	TC*6/CARINA(RL6019)	<i>Lr2b</i>
5	TC*6/LOROS(RL6047)	<i>Lr2c</i>
6	TC*6/DEMOCRAT(RL6002)	<i>Lr3</i>
7	TC*6/ANIVERSARIO(RL6007)	<i>Lr3ka</i>
8	BAGE/8*TC(RL6042)	<i>Lr3bg</i>
9	TRANSFER/6*TC(RL6010)	<i>Lr9</i>
10	TC*6/EXCHANGE(RL6004)	<i>Lr10</i>
11	HUSSAR(W976)	<i>Lr11</i>
12	EXCHANGE/6*TC(RL6011)	<i>Lr12</i>
13	MANITUOU	<i>Lr13</i>
14	SELKIRK/6*TC(RL6013)	<i>Lr14a</i>
15	TC*6/MARIA ESCOBAR(RL6006)	<i>Lr14b</i>
16	TC*6/KENYA1483(RL6052)	<i>Lr15</i>
17	TC*6/EXCHANGE(RL6005)	<i>Lr16</i>
18	KLEIN LUCERO/6*TC(RL6008)	<i>Lr17</i>
19	TC*7/AFRICA43(RL6009)	<i>Lr18</i>
20	TC*7/TR(RL6040)	<i>Lr19</i>
21	THEW(W203)	<i>Lr20</i>
22	TC*6/RL5406(RL6043)	<i>Lr21</i>
23	TC*6/RL5404(RL6044)	<i>Lr22a</i>
24	LEE310/6*TC(RL6012)	<i>Lr23</i>
25	TC*6/AGENT(RL6064)	<i>Lr24</i>
26	TC*?/TRANSEC	<i>Lr25</i>
27	TC*6/ST-1-25(RL6078)	<i>Lr26</i>
28	GATCHER(W3201)	<i>Lr10 / Lr27 + / Lr31</i>
29	CS2D-2M	<i>Lr28</i>
30	TC*6/CS7AG#11(RL6080)	<i>Lr29</i>
31	TC*6/TERENZ10(RL6049)	<i>Lr30</i>
32	TCLR32(RL5497)	<i>Lr32</i>
33	TC*6/PI58548(RL6057)	<i>Lr33</i>
34	TC*6/PI58548(RL6058)	<i>Lr34</i>
35	RL5711	<i>Lr35</i>
36	E84018(NEP/AE.SPELTOIDES.2-9-w...)	<i>Lr36</i>
37	TC*6/VPM(RL6081)	<i>Lr37</i>
38	TC*6//CARINA(RL6051)	<i>Lrb</i>
39	WL711	<i>Lr13</i>

نتایج و بحث

فراوانی پاتوتیپ‌ها و نژادها

بیشترین فراوانی به ترتیب متعلق به نژادهای PKTTS (۳۷/۵ درصد) و PKTTT (۲۷/۵ درصد) بود. در مجموع نتایج دو سال نشان داد که بیشترین فراوانی به ترتیب متعلق به نژادهای PKTTS با فراوانی ۲۸ درصد (۱۰ جدایه از استان اردبیل، سه جدایه از استان خوزستان، دو جدایه از استان مازنداران و یک جدایه از هر کدام از استان‌های لرستان و فارس)، نژاد PKTTT با فراوانی ۱۸ درصد (چهار جدایه از استان خوزستان، دو جدایه از استان کرمانشاه و یک جدایه از هر یک از استان‌های اردبیل، ایلام، سیستان و بلوچستان، مازنداران و گلستان) بود (جدول ۲).

نتایج حاصل از تعیین فرمول پراآزاری /ناپراآزاری (Avirulence /Virulence formula) و تعیین نژاد جدایه‌های مورد بررسی طی سال‌های ۹۷ و ۹۸ (دو سال) در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در سال ۹۷، تعداد ۱۳ نژاد و ۲۰ پاتوتیپ و در سال ۹۸، تعداد ۱۰ نژاد و ۲۸ پاتوتیپ و در مجموع ۴۸ پاتوتیپ و ۲۰ نژاد شناسایی شدند (جدول ۲). در سال ۹۷ بیشترین فراوانی متعلق به PFTTQ (۱۴/۳ درصد) و TKTTS (۱۴/۳ درصد) و در سال ۹۸

جدول ۲. الگوی پرازاری/ناپرازاری جدایه‌های زنگ قهوه‌ای جمع‌آوری شده از استان‌های مختلف ایران در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Table 2. Virulence/ Avirulence profile of leaf rust isolates collected from different parts of Iran in 2018 and 2019.

No.	Isolate	Location	Race	Virulence genes	Avirulence genes
1	Lr-97-4	Khuzestan	FKKTS	<i>Lr22b, Lr2c, Lr3, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr3ka, Lr9, Lr15, Lr19, Lr28, Lr29</i>
2	Lr-97-8	Khuzestan	FFTTS	<i>Lr22b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr15, Lr16, Lr19, Lr28, Lr29, Lr10 / Lr27 + / Lr31</i>
3	Lr-97-24	Khuzestan	DKTTL	<i>Lr22b, Lr2b, Lr2c, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr14a, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr3, Lr9, Lr13, Lr14b, Lr19, Lr20, Lr21, Lr28</i>
4	Lr-97-26	Khuzestan	TKTSQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr22a, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr9, Lr15, Lr18, Lr19, Lr20, Lr21, Lr23, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
5	Lr-97-30	Khuzestan	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr15, Lr19, Lr28, Lr32</i>
6	Lr-97-12	Lorestan	FFRSQ	<i>Lr22b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr17, Lr18, Lr19, Lr20, Lr21, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
7	Lr-97-13	Lorestan	TKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr30, Lr32, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr9, Lr19, Lr28, Lr29, Lr33</i>
8	Lr-97-14	Lorestan	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr15, Lr19, Lr28</i>
9	Lr-97-15	Lorestan	PFTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr16, Lr19, Lr23, Lr28, Lr29, Lr13</i>
10	Lr-97-17	Lorestan	PFTTQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr16, Lr19, Lr20, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
11	Lr-97-21	Lorestan	PFTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr16, Lr19, Lr21, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
12	Lr-97-22	Lorestan	TKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
13	Lr-97-18	Moghan_Ardabil	PKTTQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr19, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
14	Lr-97-19	Moghan_Ardabil	TKTTQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr9, Lr19, Lr20, Lr21, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>

Continued table 2.

No.	Isolate	Location	Race	Virulence genes	Avirulence genes
15	Lr-97-20	Moghan_Ardabil	PFTTQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr15, Lr16, Lr19, Lr20, Lr23, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
16	Lr-97-37	Ardabil_Ardabil	PFTTQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr17, Lr18, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr15, Lr16, Lr19, Lr20, Lr21, Lr28</i>
17	Lr-97-38	Ardabil_Ardabil	PKTRQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr14a, Lr19, Lr20, Lr21, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29, Lr13</i>
18	Lr-97-40	Ardabil_Ardabil	PKTTQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr15, Lr19, Lr20, Lr26, Lr28</i>
19	Lr-97-10	Sari_Mazandaran	TKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
20	Lr-97-11	Golestan_Gorgan	FKTTQ	<i>Lr22b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr20, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr13</i>
21	Lr-97-3	Khorasan	FKTTQ	<i>Lr22b, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr9, Lr19, Lr20, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28</i>
22	Lr-98-1	Bayekola_Mazandaran	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
23	Lr-98-2	Gharakhil_Mazandaran	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
24	Lr-98-3	Gharakhil_Mazandaran	PKTKT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lrb</i>
25	Lr-98-4	Gharakhil_Mazandaran	PKTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29</i>
26	Lr-98-5	Ahwaz_Khouzestan	PKTTQ	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr20, Lr23, Lr10, Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
27	Lr-98-6	Ahwaz_Khouzestan	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
28	Lr-98-7	Ahwaz_Khouzestan	PFTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr13, Lr16, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29, Lr13</i>

Continued table 2.

No.	Isolate	Location	Race	Virulence genes	Avirulence genes
29	Lr-98-8	Shavour_Khouzestan	PKTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr15, Lr19</i>
30	Lr-98-9	Shavour_Khouzestan	PKTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr15, Lr19, Lr29</i>
31	Lr-98-10	Shavour_Khouzestan	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr19, Lr28, Lr29</i>
32	Lr-98-11	Shavour_Khouzestan	PKTTR	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr19, Lr20, Lr29</i>
33	Lr-98-12	Shavour_Khouzestan	PFTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr16, Lr19</i>
34	Lr-98-13	Dezfoul_Khouzestan	PKTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr29</i>
35	Lr-98-14	Dezfoul_Khouzestan	PFTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr15, Lr16, Lr19, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr29</i>
36	Lr-98-15	Moosian_Illam	PKTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31</i>
37	Lr-98-17	Gorgan_Golestan	PKTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31</i>
38	Lr-98-19	Gorgan_Golestan	PFTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr16, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31</i>
39	Lr-98-20	Gharakhil_Mazandaran	PFTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr16, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31</i>
40	Lr-98-21	Ramhormoz_Khouzestan	PKTTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29</i>

Continued table 2.

No.	Isolate	Location	Race	Virulence genes	Avirulence genes
41	Lr-98-22	Sistan_Zahedan	PKTTT	Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29
42	Lr-98-24	Khoramabad_Lorestan	PKTTQ	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr20, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28
43	Lr-98-25	Shiraz_Fars	PKTTS	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28
44	Lr-98-26	Kermanshah_Kermanshah	PKTTT	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29
45	Lr-98-27	Sarpol zahab_Kermanshah	PKTTT	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31
46	Lr-98-29	Moghan_Ardabil	PKTTR	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr20, Lr10 / Lr27 + / Lr31
47	Lr-98-30	Moghan_Ardabil	PKTTS	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28
48	Lr-98-31	Moghan_Ardabil	PKTTT	Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31
49	Lr-98-32	Moghan_Ardabil	PKTTS	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29
50	Lr-98-33	Moghan_Ardabil	PKTTS	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29
51	Lr-98-34	Moghan_Ardabil	PKTTR	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr20, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29
52	Lr-98-35	Moghan_Ardabil	PKTTS	Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr23, Lr28, Lr29, Lr30
53	Lr-98-36	Moghan_Ardabil	PKTTS	Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr28, Lr29
54	Lr-98-37	Moghan_Ardabil	PKTTS	Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13	Lr2a, Lr9, Lr19, Lr23, Lr28, Lr29

Continued table 2.

No.	Isolate	Location	Race	Virulence genes	Avirulence genes
55	Lr-98-38	Moghan_Ardabil	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr28</i>
56	Lr-98-39	Moghan_Ardabil	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr28</i>
57	Lr-98-40	Ardabil_Ardabil	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
58	Lr-98-41	Ardabil_Ardabil	FKTTS	<i>Lr22b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr1, Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
59	Lr-98-43	Ardabil_Ardabil	PKTTS	<i>Lr22b, Lr1, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr16, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr2b, Lr9, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr28, Lr29</i>
60	Lr-98-45	Boroujerd_Lorestan	PFTRT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14b, Lr15, Lr17, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr14a, Lr16, Lr19, Lr10 / Lr27 + / Lr31, Lr29</i>
61	Lr-98-46	Neka_Mazandaran	PFRTT	<i>Lr22b, Lr1, Lr2b, Lr2c, Lr3, Lr3ka, Lr3bg, Lr10, Lr11, Lr12, Lr13, Lr14a, Lr14b, Lr15, Lr18, Lr20, Lr21, Lr22a, Lr23, Lr24, Lr25, Lr26, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr28, Lr30, Lr32, Lr33, Lr34, Lr35, Lr36, Lr37, Lrb, Lr13</i>	<i>Lr2a, Lr9, Lr16, Lr17, Lr19, Lr10, Lr27+ Lr31, Lr29</i>

۲۹ درصد جدایه‌های استان حساس و بقیه ژن‌ها حداقل نسبت به ۵۰ درصد جدایه‌های استفاده‌شده حساس بودند. گیاهان حامل ژن‌های *Lr22a, Lr17, Lr12, Lr11, Lr10, Lr3bg, Lr2c, Lr22b, Lr24, Lr25, Lr26, Lr30, Lr33, Lr34, Lr35, Lr37* و *Lrb* نسبت به تمام جدایه‌های استان خوزستان حساس بودند. البته باید توجه داشت که ژن‌های *Lr22b, Lr12, Lr34, Lr35, Lr37* و *Lrb* از دسته ژن‌های مقاومت گیاه کامل بوده (McIntosh *et al.* 1995) و تظاهرشان باید در مرحله‌ی گیاه کامل و در مزرعه مورد بررسی قرار گیرد.

در استان مازندران جدایه LR-97-10 (TKTTS) با پرآزاری بر روی ۳۵ ژن قوی‌ترین پاتوتیپ و جدایه‌های LR-98-1 (PKTTS)، LR-98-2 (PKTTS) و LR-98-3 (PKTKT) هر کدام با پرآزاری بر روی ۳۲ ژن ضعیف‌ترین پاتوتیپ‌ها بودند. ژن‌های *Lr9, Lr19* و *Lr2a* نسبت به تمام جدایه‌ها مقاوم، ژن‌های *Lr10/Lr27+/Lr31* و *Lr29* نسبت به یک جدایه حساس (هر دو نسبت به جدایه LR-

نژادهای TKTSQ (خوزستان)، TKTTS (دو جدایه از لرستان و یک جدایه از مازندران)، TKTTQ (اردبیل) با پرآزاری بر روی ژن *Lr2a* اولین بار در سال ۹۷ مشاهده شدند که در گزارش‌های قبلی پرآزاری بر روی این ژن مشاهده نشد (Nemati *et al.* 2020). نژاد شایع PKTTS با پرآزاری بر روی ژن‌های *Lr1, Lr2c, Lr3a, Lr16, Lr24, Lr26, Lr3ka, Lr31, Lr11, Lr17, Lr30, Lr18, Lr14b, Lr3bg, Lr18* و *Lr20* (جدول ۲) فراوانی آن در سال ۹۷، به میزان ۹ درصد بود که این مقدار در سال ۹۸ به ۲۸ درصد افزایش یافت.

فراوانی پرآزاری بر ژن‌های مقاومت در استان خوزستان جدایه‌های LR-98-8 (PKTTT) و LR-98-12 (PFTTT) با پرآزاری بر روی ۳۵ ژن قوی‌ترین پاتوتیپ‌ها بودند. ارقام حامل ژن‌های *Lr9* و *Lr19* نسبت به تمام جدایه‌ها مقاوم، ژن *Lr2a* تنها در برابر جدایه LR-97-26 حساس، ژن *Lr28* نسبت به

تقسیم شد که بر اساس داده‌های هواشناسی این سه محور هر کدام تحت تاثیر دو تا سه جریان هوایی کشور هستند (Dadrezaei *et al.* 2018). نتایج حاصل از این پژوهش در شباهت فنوتیپی و پرآزاری جدایه‌ها در بین استان‌ها و امکان ارتباط انتقال اسپور میان مناطق با نتایج (Dadrezaei *et al.* 2013) تطابق داشت.

به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از میان جدایه‌های سال ۹۷ جدایه LR-97-22 (لرستان) و LR-97-10 (مازندران)، با داشتن فاکتورهای پرآزاری برای گیاهان حامل ۳۵ ژن مقاومت، دارای بیشترین قدرت پرآزاری و جدایه LR-97-12 (لرستان) با داشتن فاکتور بیماری‌زایی برای ۲۷ ژن مقاومت دارای کمترین توان پرآزاری بودند. همچنین از میان جدایه‌های سال ۹۸ جدایه LR-98-12 (خوزستان_شاوور) و LR-98-8 (خوزستان_شاوور)، با داشتن فاکتورهای پرآزاری برای گیاهان حامل ۳۵ ژن مقاومت، دارای بیشترین قدرت پرآزاری و جدایه LR-98-7 (خوزستان_اهواز) و LR-98-35 (اردبیل_مغان) به‌ترتیب با داشتن فاکتورهای پرآزاری برای ۳۰ و ۳۱ ژن مقاومت دارای کمترین قدرت پرآزاری بودند (جدول ۲). نتایج بررسی فراوانی‌های پرآزاری برای ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای در شکل ۱ خلاصه شده است.

ژن *Lr1*: فراوانی پرآزاری جدایه‌ها در سال ۹۷ روی این ژن ۷۳ درصد برآورد شد. استان اردبیل با ۲۸ درصد و استان لرستان با ۲۷ درصد، به‌ترتیب بیشترین فراوانی پرآزاری را برای لاین حامل ژن *Lr1* داشتند، همچنین تمام جدایه‌های مورد استفاده در سال ۹۸ روی این ژن پرآزاری داشتند (شکل ۱).

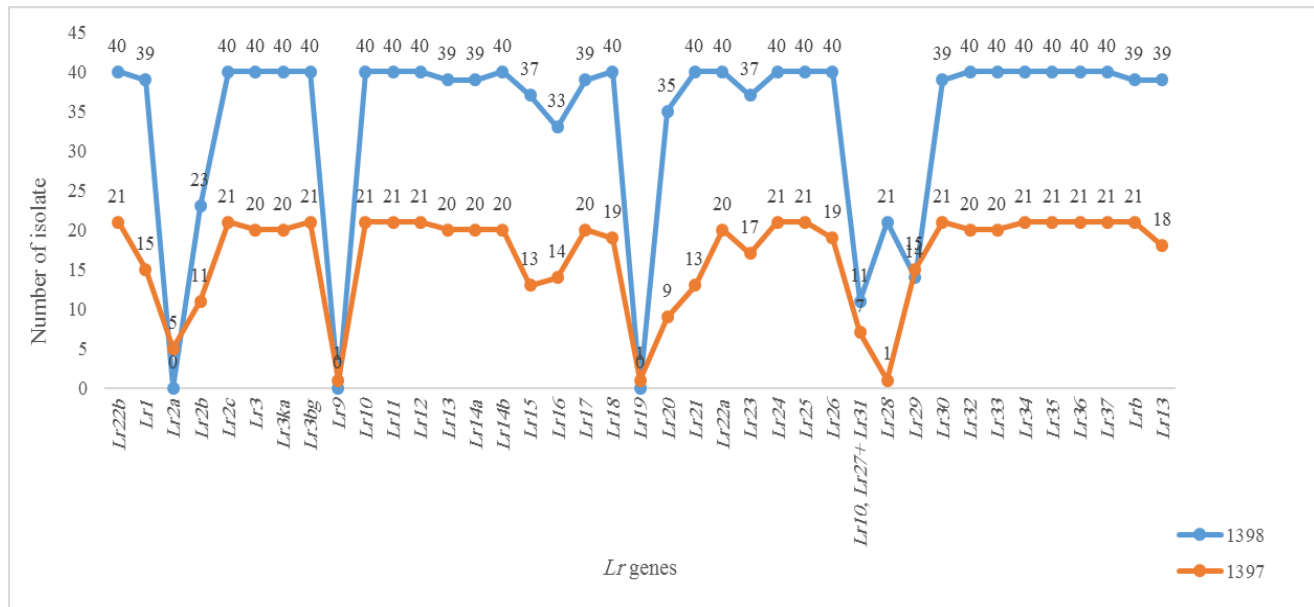
ژن *Lr2a*: از ۶۱ جدایه مورد بررسی تنها ۵ جدایه روی این ژن پرآزاری داشتند. در سال ۹۸ برای ژن *Lr2a* پرآزاری مشاهده نشد، اما در سال ۹۷ جدایه‌های جمع‌آوری شده از استان‌های خوزستان (LR-97-26)، لرستان (LR-97-13 و LR-97-22)، اردبیل (LR-97-19) و مازندران (LR-97-10) روی این ژن پرآزاری داشتند.

97-10 (TKTTS) و سایر ژن‌ها با فراوانی بالا نسبت به جدایه‌های استان حساس بودند.

در استان اردبیل جدایه LR-98-30 (PKTTS) و LR-98-38 (PKTTS) با پرآزاری بر روی ۳۴ ژن قوی‌ترین پاتوتیپ‌ها و جدایه LR-97-38 (PKTRQ) با پرآزاری بر روی ۲۸ ژن ضعیف‌ترین پاتوتیپ بود. همانند استان‌های خوزستان و مازندران ژن‌های *Lr9* و *Lr19* نسبت به تمام جدایه‌ها مقاوم، ژن *Lr2a* به استثنا جدایه LR-97-19 (TKTTQ) نسبت به تمام جدایه‌ها مقاوم، ژن *Lr28* نیز تنها به جدایه‌های LR-98-30 (PKTTS) و LR-98-34 (PKTTR) حساس بود. به‌علاوه ژن‌های *Lr10/Lr27 + /Lr31* و ژن *Lr29* در برابر به ترتیب ۷۱ و ۶۴ درصد جدایه‌ها مقاوم بودند.

در استان لرستان جدایه LR-97-22 (TKTTS) با پرآزاری بر روی ۳۵ ژن قوی‌ترین و جدایه LR-97-12 (FFRSQ) با پرآزاری بر روی ۲۷ ژن ضعیف‌ترین پاتوتیپ‌ها بودند. ژن‌های *Lr9* و *Lr19* نسبت به تمام جدایه‌ها مقاوم و ژن‌های *Lr28*، *Lr31*، *Lr10/Lr27 + /Lr31* و *Lr2a* نسبت به اکثر جدایه‌ها مقاوم بودند. تعداد جدایه‌های استفاده‌شده در آزمایش در سایر استان‌ها کمتر از پنج جدایه بود.

از نظر شباهت جدایه‌ها، فرمول ناپرآزاری /پرآزاری جدایه LR-97-10 از قراخیل مازندران با فرمول ناپرآزاری /پرآزاری جدایه LR-97-22 از بروجرد لرستان شباهت داشته و بیشترین پرآزاری را بر روی گیاهان حامل ژن مقاومت و یا لاین‌های افتراقی داشتند. همچنین فرمول ناپرآزاری /پرآزاری جدایه LR-98-6 از اهواز با فرمول ناپرآزاری /پرآزاری جدایه LR-98-1 از قراخیل مازندران و LR-98-2 از بایع کلا مازندران شباهت داشت و فرمول ناپرآزاری /پرآزاری جدایه LR-98-15 از ایلام با فرمول ناپرآزاری /پرآزاری جدایه LR-98-17 از گرگان و LR-98-31 از مغان (استان اردبیل) شباهت داشت. در بررسی مهاجرت جمعیت‌های زنگ قهوه‌ای گندم در ایران بر اساس داده‌های بیماری‌زایی و مولکولی مسیرهای انتقال زنگ در کشور به سه محور جنوب غرب به سمت شمال غرب، شمال غرب به سمت شمال شرق و شمال شرق به سمت جنوب شرق



شکل ۱. فراوانی پرآزاری جدایه‌های زنگ قهوه‌ای گندم روی ژن‌های مقاومت در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸.

Figure 1. Virulence frequency of leaf rust isolates for resistance genes in 2017 and 2018.

خوزستان با ۱۵ درصد پرآزاری در سال ۹۸ و استان‌های خوزستان و لرستان هر کدام با ۱۴ درصد در سال ۹۷ بیشترین فراوانی پرآزاری را برای آن داشتند.

ژن **Lr13**: اگرچه ژن مقاومت گیاه کامل بوده، با این حال رقم حامل این ژن به شدت در برابر دمای بالا حساس است و در صورت مناسب بودن شرایط دمایی بالا در مراحل اولیه رشدی می‌تواند تظاهر پیدا کند (Dyck et al. 1966). در این پژوهش نیز رقم حامل ژن **Lr13** نسبت به جدایه‌های LR-98-7 (PFTTS)، اهواز_خوزستان، LR-97-11 (FKTTQ، گرگان-گلستان)، LR-97-38 (PKTRQ، اردبیل) و LR-97-15 (PFTTS، لرستان) مقاومت نشان داد (جدول ۲). در پژوهش‌های قبلی نیز گزارش شده بود که رقم حامل این ژن نسبت به جدایه اهواز مقاوم است (Zarandi et al. 2011).

سایر ژن‌ها با فراوانی بیش از ۵۰ درصد پرآزاری در مقابل اکثر جدایه‌ها حساس بودند (شکل ۱ و جدول ۲). در رابطه با ژن‌های **Lr22b**، **Lr22a**، **Lr12**، **Lr13**، **Lr34**، **Lr35** و **Lr37** لازم به توضیح است که این ژن‌ها، ژن‌های مرحله بلوغ یا مرحله گیاه کامل (Adult Plant Resistance) هستند و واکنش این لاین‌ها باید در مرحله گیاه کامل و پس از ظهور برگ پرچم بررسی شوند. لذا نمی‌توان نتایج مرحله گیاهچه‌ای را معادل نتایج مرحله گیاه کامل در نظر گرفت. همچنین برخی از ژن‌های مقاومت به بیماری زنگ قهوه‌ای

با این وجود، در استان‌های خراسان و گلستان پرآزاری برای این ژن مشاهده نشد. نتایج پژوهش‌های Nemati et al. (2020) نشان داد که تا سال ۲۰۱۶ هیچ نژادی بر روی ژن **Lr2a** پرآزاری نداشته است، با این حال در سال ۹۷ پنج جدایه شناسایی شد که روی این ژن پرآزاری داشتند.

پرآزاری برای ژن‌های **Lr9** و **Lr19** در هیچ سالی و هیچ مکانی دیده نشد (شکل ۱). همچنین پرآزاری برای ژن **Lr28** در سال ۹۷ مشاهده نشد ولی این مقدار در سال ۹۸ به ۳۵ درصد (۱۴ جدایه) افزایش یافت. این جدایه‌ها از استان‌های خوزستان (۶ جدایه)، مازنداران (۳ جدایه)، خرم‌آباد (۲ جدایه)، اردبیل (۲ جدایه) و فارس (۱ جدایه) بودند. همچنین در بررسی جمعیت عامل زنگ قهوه‌ای در گزارش گردید که ارقام حامل ژن‌های مقاومت **Lr9** و **Lr19** نسبت به همه‌ی جدایه‌های موجود مقاوم هستند که با نتایج این بررسی مطابقت داشت (Hanzalova et al. 2016, 2020).

ژن **Lr29**: فراوانی پرآزاری برای این ژن در سال ۹۷ و ۹۸ به ترتیب ۷۳ و ۲۲/۵ درصد برآورد شد. استان خوزستان با فراوانی به ترتیب ۷/۵ و ۱۱ در سال ۹۸ و ۹۷، بیشترین فراوانی پرآزاری را برای آن داشتند.

بلوک ژنی **Lr10/Lr27+Lr31**: فراوانی پرآزاری برای این بلوک ژنی در سال ۹۷ و ۹۸ به ترتیب ۳۶ و ۳۳ درصد برآورد شد. استان

نتایج حاصل نشان می‌دهد جمعیت زنگ قهوه‌ای گندم پتانسیل بالقوه‌ای در ایجاد پرازاری بر روی اکثر ژن‌های مقاومت را دارد، بنابراین بیماری‌شناسان و اصلاحگران بایستی از این اطلاعات در جهت مدیریت مناسب ژن‌ها در ارقام پرمحصول و با سطح زیر کشت وسیع استفاده کنند؛ در صورت مدیریت نادرست ژن‌های موجود، نژادها فرصت تکثیر پیدا کرده و پس از چند سال فراوانی آن‌ها تثبیت خواهد شد. به دلیل تنوع بالای نژاد در جمعیت زنگ قهوه‌ای گندم، تنها تعداد کمی از ارقام حامل ژن‌های مقاومت (*Lr19* و *Lr9*) به پاتوتیپ‌های موجود مقاومت خوبی داشتند. برخی از ژن‌ها از قبیل *Lr2a*، *Lr28* و *Lr10/Lr27+/Lr31* هر چند که فراوانی نژادهای پرازار روی آن‌ها کم است اما نژادهای پرازار مورد نظر، در جمعیت عامل بیماری وجود داشته و راهبردهای نامناسب مثل مقاومت تک ژنی و کشت گسترده ارقام حامل تک ژن مقاومت اختصاصی باعث گسترش و تثبیت فراوانی این نژادها خواهد شد. مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیشین (Niazmand et al. 2010; Dadrezaei et al. 2012; 2020) نشان می‌دهد فاکتورهای بیماری‌زایی عامل بیماری زنگ قهوه‌ای در سال‌ها و مناطق مختلف تغییرات فراوانی می‌یابد. عدم پرازاری روی بعضی از ژن‌ها مانند *Lr9* و *Lr19* و فراوانی پرازاری کم روی ژن‌های *Lr2a*، *Lr28*، *Lr29* و *Lr10/Lr27+ /Lr31* نشان می‌دهد، امکان استفاده از این ژن‌های مقاومت در برنامه‌های اصلاح ارقام مقاوم وجود دارد. تحقیقات انجام‌شده در چین (Zhang et al. 2020a) و روسیه (Volkova et al. 2020) نشان داد که فراوانی پرازاری روی ژن‌های *Lr9* و *Lr19* پائین می‌باشد که نشان‌دهنده کمیاب بودن پرازاری برای این دو ژن در سایر مناطق دنیا می‌باشد. ژن‌های *Lr9* و *Lr19* به‌عنوان ژن‌های مقاومت اختصاصی وابسته به نژاد شناسایی شده‌اند، بایستی توجه داشت که کاشت ارقام حامل چنین ژن‌هایی در سطح وسیع و بدون ترکیب کردن با سایر ژن‌ها منجر به افزایش فشار انتخاب نژادهای پرازار گشته و منجر به غیرموثر شدن این ژن‌ها در کوتاه‌مدت می‌شود، بنابراین در کاربرد این ژن‌ها و مدیریت درست آن‌ها بایستی دقت شود. به‌علاوه باید توجه داشت که باوجود موثر بودن ژن *Lr19* در مقاومت به زنگ قهوه‌ای به‌دلیل همبستگی با ژن تولید رنگدانه و زرد نمودن آرد استفاده از آن به‌عنوان منبع مقاومت محدود شده است (Knott 1989). ارزیابی الگوی پرازاری در بین جمعیت زنگ قهوه‌ای ایرانی طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۱ منجر به شناسایی ۸۶ فنوتیپ از ۱۷۵ جدایه شد. نژادهای

به شرایط دمایی حساس هستند و در دمای خاصی بیشترین واکنش را نشان می‌دهند و ممکن است که در شرایط دمایی گلخانه بیان نشوند. ولی آنچه مسلم است به دلیل تنوع بالای نژادها در ایران، تنها تعداد کمی از ژن‌های مقاومت به تمام پاتوتیپ‌های موجود در کشور مقاومت خوبی نشان دادند. راهبردهای نامناسب مانند استفاده از مقاومت تک ژنی باعث گسترش و تثبیت فراوانی این نژادها می‌گردد. استفاده بیش از اندازه از مقاومت تک ژنی مانند *Lr13*، *Lr10* و *Lr37* باعث تحریک گزینش برای پاتوتیپ‌هایی از زنگ می‌شوند که بر ژن‌های مقاومت مربوطه فایز آیند. بررسی‌ها نشان داده است که نسبت به میزان سطح زیر کشت ارقام حامل تک ژن مقاومت، جمعیت نژاد بیمارگر در جهت پرازاری برای تک ژن مربوطه انتخاب و افزایش می‌یابند که این فرایند در مورد ژن *Lr13* در فرانسه و اروپا و ژن *Lr26* گزارش شده است. اغلب ژن‌های مقاومت به زنگ قهوه‌ای موجود در ارقام اروپایی نژاد اختصاصی (Race specific) هستند و ژن‌های مانند *Lr13*، *Lr10* و *Lr37* نسبت به عامل بیماری مغلوب شده‌اند (Goyeau et al. 2006). به‌طور کلی تعداد فاکتورهای پرازاری در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۷ بیشتر بود (جدول ۲). یکی از دلایل آن می‌تواند وجود شرایط مساعد محیطی (رطوبت و دمای مناسب) در سال ۹۸ باشد. در بررسی داده‌های هواشناسی سال ۹۸ و ۹۷ این موضوع تأیید شد. کشت گسترده ارقام حامل ژن *Lr39* در آمریکا منجر به انتخاب پاتوتیپ‌هایی از *P. triticina* با پرازاری روی ژن *Lr39* شد (Kolmer 2019). در بررسی پنج ساله جمعیت زنگ قهوه‌ای جمهوری چک مشخص شده که با کشت رقم حامل ژن *Lr28* فراوانی جدایه‌های پرازار برای این ژن افزایش یافت و از طرفی با کشت ارقام فاقد ژن *Lr24* فراوانی جدایه‌های پرازار برای آن کاهش یافت (Hanzolva et al. 2020). به‌علاوه، اگرچه سطح زیر کشت ارقام با ژن‌های مقاومت اختصاصی یک عامل تاثیرگذار بر انتشار پاتوتیپ‌ها می‌باشد، سازگاری بیمارگر نیز یک عامل مهم است (Hanzolva et al. 2020). با وجود تفاوت فراوانی پرازاری برای برخی از ژن‌ها در دو سال، احتمالاً این تفاوت‌ها به‌دلیل تعداد کم نمونه باشد، پیشنهاد می‌شود اگر تعداد جدایه‌های مورد بررسی افزایش یابد، به‌طوری‌که بتوان جامعه مورد مطالعه را نرمال فرض کرد، در این صورت می‌توان مقایسه بهتری از افزایش و یا کاهش پرازاری روی ژن‌ها در سال‌های متوالی انجام داد.

نتایج مطالعات نشان می‌دهد، چنانچه در مناطقی سطح زیر کشت ارقام حامل ژن مشخصی افزایش پیدا کند ممکن است تغییر ناگهانی در ژنتیک مقاومت ارقام حامل تک ژن‌های مقاومت عمودی رخ دهد. برخی از ژن‌های مقاومت شرح داده شده، تاکنون مقاومت کاملی داشته‌اند با این حال انتظار این است که این ژن‌ها زمانی که به صورت گسترده در ارقام زراعی بکار روند پایداری نداشته باشند. نتایج بررسی‌های متعدد نشان داده که ترکیب حداقل دو یا سه ژن مقاومت عمودی در کنار ژن‌های دخیل در مقاومت غیر نژاد-اختصاصی (Non race-specific resistance) ترجیحا از نوع ژن‌های مقاومت مرحله گیاه کامل در ارقام زراعی می‌تواند یک راهبرد موثر در جلوگیری از بروز همه‌گیری‌های گسترده و خسارت‌زای زنگ قهوه‌ای باشد (Goyeau et al. 2006).

بررسی پاتوتیپ‌های مختلف عامل بیماری، با استفاده از نوع واکنش مقاومت و یا حساسیت لاین‌های استاندارد می‌تواند به‌عنوان ابزاری مقدماتی برای شناسایی ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای نژاد اختصاصی (Race-specific resistance) در شرایط کنترل شده گلخانه مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان مثال در تحقیق انجام شده در سال ۱۳۸۷ دو رقم قدس و سیلان به دلیل حساسیت به تمام جدایه‌های مورد استفاده فاقد ژن مقاومت گیاهچه‌ای نسبت به عامل بیماری زنگ قهوه‌ای بودند. اما در سه رقم شیرودی، اترک و MV17 ژن‌های مقاومت *Lr1* و *Lr26* تعیین گردید (Afshari 2008).

با توجه به طیف گسترده پرازاری برای ژن‌های مقاومت شناسایی شده برای زنگ قهوه‌ای گندم (به جز چند ژن)، به‌نظر می‌رسد برای تهیه ارقام مقاوم بایستی ژن‌های شناسایی شده جدید (*Lr38-Lr79*) که هنوز پرازاری روی آن‌ها گزارش نشده را نیز در مناطق مختلف آزمایش نمود تا بتوان از ژن‌های مقاومت موثر هر منطقه جهت تهیه ارقام مقاوم بهره برد. به‌علاوه از آنجایی که مقاومت یک رقم تک ژنی نمی‌تواند پایداری زیادی داشته باشد و با یک جهش در عامل بیماری یا ظهور یک نژاد جدید، احتمال شکسته شدن آن زیاد است، بنابراین برای جلوگیری و یا کاهش سرعت شکسته شدن مقاومت ارقام تک‌ژنی و حراست از منابع ژنی مقاومت باید برنامه‌های مشخصی مانند تنوع ژنتیکی و پهنه‌بندی مناسب از ارقام در مناطق مختلف کشور برنامه‌ریزی کرد. به‌نژادگران گندم می‌توانند جهت پایداری مقاومت، از ژن‌های از نوع مقاومت تدریجی و یا کاهنده زنگ (Slow rusting) به‌عنوان مکمل ژن‌های مقاومت

شایع‌ترین نژادهای FDTNQ و FDKTQ، FDKPQ، FDTTQ کشور بودند. همچنین پرازاری روی ژن *Lr2a* مشاهده نشد (Nemati et al. 2020).

همچنین بررسی فراوانی پرازاری جدایه‌های زنگ قهوه‌ای در چین بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نشان داد که ژن‌های *Lr9*، *Lr28*، *Lr24*، *Lr19* و *Lr29* نسبت به تمام جدایه‌ها مقاوم بودند. فراوانی جدایه‌های پرازار ژن *Lr25* کمتر از یک درصد بود. فراوانی پرازاری سایر ژن‌های مقاومت نیز بیش از ۷۰ درصد بود (Zhang et al. 2020a). در مطالعه‌ای دیگر در چین بین سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ فراوانی جدایه‌های با پرازاری روی ژن‌های *Lr9*، *Lr19*، *Lr25*، *Lr28* و *Lr29* کمتر از ۳/۵ درصد بود، درحالی که فراوانی جدایه‌های با پرازاری روی سایر ژن‌ها بیش از ۷۰ درصد بود. به‌علاوه تمام جدایه‌ها نسبت به ژن *Lr24* ناپرازار بودند (Zhang et al. 2020b).

در مطالعات انجام‌شده در کانادا بین سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۲ گزارش شد که پرازاری برای ژن‌های *Lr2a*، *Lr2c*، *Lr26* و *Lr10* در مقایسه با سال ۲۰۱۳ افزایش و پرازاری برای ژن‌های *Lr9*، *Lr24*، *Lr3ka*، *Lr30* و *Lr14a* کاهش یافته است (MacCallum et al. 2019, 2020).

در ایالات متحده آمریکا از ۴۶۹ جدایه جمع‌آوری شده از مناطق مختلف در سال ۲۰۱۷، تعداد ۶۵ فنوتیپ پرازار شناسایی شد. نژادهای MBTNB (با فراوانی ۱۱ درصد)، TFTSB (با فراوانی ۱۰ درصد) و MCTNB (با فراوانی ۷ درصد) فراوان‌ترین نژادهای شناسایی شده بودند، همچنین فراوانی پرازاری برای ژن‌های *Lr39*، *Lr18* و *Lr11* بالا بود (Kolmer 2018).

ارزیابی الگوی پرازاری در بین جمعیت زنگ قهوه‌ای پاکستانی در شرایط مزرعه‌ای در چهار مکان طی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ نشان داد که در جمعیت مورد نظر پرازاری روی ژن‌های *Lr18*، *Lr19*، *Lr23*، *Lr28*، *Lr29*، *Lr32*، *Lr34*، *Lr35*، *Lr36* و *Lr37* وجود ندارد (Ali et al. 2020). به‌علاوه تمام جدایه‌های جمع‌آوری شده بین سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۸ روی ژن‌های *Lr9*، *Lr18* و *Lr24* ناپرازار بودند. فراوانی پرازاری سایر جدایه‌ها روی سایر ژن‌های مقاومت بیش از ۵۰ درصد بود (Kolmer & Hughes 2018). نتایج پرازاری ۵۲۶ جدایه جمع‌آوری شده در سال ۲۰۱۵ در آمریکا، منجر به شناسایی ۶۰ فنوتیپ پرازار شد (Kolmer & Hughes 2018).

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به دلیل تامین امکانات گلخانه‌ای و پشتیبانی مالی برای انجام این پژوهش، سپاسگزاری می‌نمایند.

نژاد اختصاصی استفاده کنند. بعلاوه بایستی از ترکیب چند ژن مقاومت مرحله گیاهچه‌ای و گیاه کامل موثر که دارای تاثیر متقابل (Interactive effects) همراه با اثرات افزایشی مقاومت (Additive effects) هستند استفاده شود (Singh & Kolmer 1996; Rajaram 1994; Wellings *et al.* 1990). در کانادا از ترکیب ژن‌های *Lr10* و *Lr13* و یا ژن‌های *Lr13* و *Lr34* استفاده شده است و کارایی مقاومت رقم را افزایش داده است (Kolmer 1997).

References

- Afshari F, 2008. Identification of virulence factors of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust in Iran. Pp 709-711 In: Appels R, Eastwood R, Lagudah E, Langridge P, Mackay M, McIntyre L, Sharp P, (eds.) Proceedings of 11th international wheat genetic symposium, Vol 3. Sydney University Press, Sydney, Australia.
- Ali Y, Khan MA, Hussain M, Sabir W, Atiq M, *et al.* 2020. Virulence analysis of leaf and stripe rust populations in Pakistan through avirulence to virulence formula. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 53: 844–855.
- Dadrezai ST, Goltapeh EM, Afshari F, Nazari K, 2012. Pathotypes and Physiological races of *Puccinia triticina* Eriks, the causal agent of wheat leaf rust in Iran in 2009-2010. *Seed and Plant Improvement journal* 28: 685–715 (In Persian with English abstract).
- Dadrezai ST, Nazari K, Afshari F, Torabi M, 2018. Genetic Diversity and Migration of Wheat Leaf Rust Populations in Iran Based on Virulence and Molecular Data. *Seed and Plant Improvement journal* 33 (1): 401–425 (In Persian with English abstract).
- Dadrezai ST, Tababidi S, Nazari K, Goltapeh EM, Afshari F, *et al.* 2013 Molecular Genetic Diversity in Iranian Populations of *Puccinia triticina*, the Causal Agent of Wheat Leaf Rust. *American Journal of Plant Sciences* 4: 1375–1386.
- Draz IS, Abou-Elseoud MS, Kamara AEM, Alaa-Eldein AEA, Elbebany AF, 2015. Screening of wheat genotypes for leaf rust resistance along with grain yield. *AOAS* 60 (1): 29–39.
- Dyck PL, Samborski DJ, Anderson RG, 1966. Inheritance of adult-plant leaf rust resistance derived from the common wheat varieties. Exchange and Frontana. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 8: 665–671.
- FAOSTAT. 2020. Production database—crops production. <http://www.Fao.org/faostat/en/#data/QC>. Accessed 14 Dec 2020.
- Figuroa M, Dodds PN, Henningsen E, 2020. Evolution of virulence in rust fungi multiple solutions to one problem. *Current Opinion in Plant Biology* 56: 20–27.
- German SA, Barcellos M, Chaves M, Kohli P, Campos L, *et al.* 2007. The situation of common wheat rusts in the southern cone of America and perspectives for control. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 620–630.
- Goyeau H, Park R, Schaeffer B, Lannou C, 2006. Distribution of pathotypes with regard to host cultivars in French wheat leaf rust populations. *Phytopathology* 96: 264-273.
- Hanzalová A, Bartoš P, Sumíková T, 2016. Virulence of wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) in the years 2013–2015 and resistance of wheat cultivars in Slovakia. *Cereal Research Communications* 44 (4): 585–593.
- Hanzalová A, Dumalasová V, Zelba O, 2020. Wheat leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks.) virulence frequency and detection of resistance genes in wheat cultivars registered in the Czech Republic in 2016–2018. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 56 (3): 87–92.
- Jin Y, 2011. Role of Berberis spp. as alternate hosts in generating new races of *Puccinia graminis* and *P. striiformis*. *Euphytica* 179:105–108.
- Knott DR, 1989. The Wheat Rusts- Breeding for Resistance. *Springer Verlag, Berlin Heidelberg* 201 pp.
- Kolmer J, 1997. Virulence in *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* isolates from Canada to genes for adult plant resistance to wheat leaf rust. *Plant Disease* 81: 267–271.
- Kolmer J, 2013. Leaf rust of wheat: pathogen biology, variation and host resistance. *Forests* 4 (1): 70–84.
- Kolmer J, 2019. Virulence of *Puccinia triticina*, the wheat leaf rust fungus, in the United States in 2017. *Plant Disease* 103: 2113–2120.

- Kolmer J, Hughes ME, 2018. Physiologic specialization of *Puccinia triticina* on wheat in the United States in 2016. *Plant Disease* 102 (6): 1066–1071.
- Kolmer J, Ordoñez ME, Manisterski J, Anikster Y, 2011. Genetic differentiation of *Puccinia triticina* populations in the Middle East genetic similarity with populations in Central Asia. *Phytopathology* 101 (7): 870–877.
- Kolmer JA, 1996. Genetics of resistance to leaf rust. *Annual Review of Phytopathology* 34: 435–455.
- Long DL, Kolmer J, 1989. A North American system of nomenclature for *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*. *Phytopathology* 79: 525–529.
- MacCallum B, Reimer E, McNabb W, Foster A, Xue A, 2020. Physiologic specialization of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Canada in 2014. *Canadian Journal of Plant Pathology* 42 (4): 520–526.
- MacCallum B, Seto-Goh P, Reimer E, Foster A, Xue A, 2019. Physiological specialization of *Puccinia triticina*, the causal agent of wheat leaf rust, in Canada in 2013. *Canadian Journal of Plant Pathology* 42 (2): 243–249.
- Mcintosh RA, Yamazaki Y, Devos KM, Dubcovsky J, Rogers Wj, et al. 2003. Catalogue of gene symbols for wheat. Proceedings of the 10th International Wheat Genetics Symposium; Vol. 1; Roma, Italy: Instituto Sperimentale per la Cerealicoltura.
- McIntosh RA, Wellings CR, Park RF, 1995. Wheat Rusts: An Atlas of Resistance Genes. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. 220 pp.
- Nemati Z, Mostowfizadeh-Ghalamfarsa R, Dadkhodaie A, Mehrabi R, Steffenson BJ, 2020. Virulence of Leaf Rust Physiological Races in Iran from 2010 to 2017. *Plant Disease* 104 (2): 363–372.
- Niazmand AR, Afshari F, Abbasi M, Rezaee S, 2010. Study on pathotypes diversity and virulence factors of *Puccinia triticina* Eriksson, the causal agent of wheat brown rust in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology* 46: 187–202 (In Persian with English abstract).
- Ordoñez ME, Germán SE, Kolmer JA, 2010. Genetic differentiation within the *Puccinia triticina* population in South America and comparison with the North American population suggests common ancestry and intercontinental migration. *Phytopathology* 100: 376–383.
- Park R, Fetch T, Hodson D, Jin Y, Nazari K, et al. 2011. International surveillance of wheat rust pathogens: progress and challenges. *Euphytica* 179 (1): 109–117.
- Riaz A, Athiyannan N, Periyannan S, Afanasenko O, Mitrofanova O, et al. 2016. Mining Vavilov's treasure chest of wheat diversity for adult plant resistance to *Puccinia triticina*. *Plant Disease* 101:317–323.
- Singh PR, Rajaram S, 1994. Genetics of adult plant resistance to stripe rust in two bread wheats. *Euphytica* 12: 1–7.
- Torabi M, Mardoukhi V, Froutan A, Aliramaei M, Dadrezaie ST, et al. 2003. Virulence genes of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*, the causal agent of wheat leaf rust in some regions of Iran during 1995–1999. *Seed and Plant Improvement Journal* 18: 432–449 (In Persian with English abstract).
- Volkova G, Vaganova O, Kudinova O, 2020. Virulence of *Puccinia triticina* in the North Caucasus Region of Russia. *Spanish Journal of Agricultural Research* 18 (1): e10SC01, 6 pages <https://doi.org/10.5424/sjar/2020181-14749>.
- Wan A, Chen X, Yuen J, 2016. Races of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in the United States in 2011 and 2012 and comparison with races in 2010. *Plant Disease* 100 (5): 966–975.
- Wellings, CR, McIntosh RA, Hussain M, 1988. A new source of resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in spring wheats (*Triticum aestivum* L.). *Plant Breeding* 100: 88–96.
- Zarandi F, Afshari F, Rezaie S, 2011. Virulence Factors of *Puccinia triticina* the Causal Agent of Wheat Leaf Rust in Different Parts of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 27 (1): 219–231 (In Persian with English abstract).
- Zhang L, Shi C, Meng Q, Yan H, Liu D, 2020a. Race and Virulence Analysis of *Puccinia triticina* in China in 2014 and 2015. *Plant Disease* 104:455–464.
- Zhang L, Xiao Y, Gao Y, Zhao Na, An Y, et al. 2020b. Race and Virulence Analysis of *Puccinia triticina* in China During 2011 to 2013. *Plant Disease* 104 (8): 2095–2101.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)