

DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2021.13316>

ارزیابی مقاومت تدریجی (Slow rusting) در برخی از لاین‌های پیشرفته گندم نسبت به زنگ ساقه (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*)

صفرعلی صفوی^۱، فرزاد افشاری^۲

^۱بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. ^۲بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. Safaralisafavi@yahoo.com

پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۵

بازنگری: ۹۹/۱۱/۱۰

دریافت: ۹۹/۱۰/۶

چکیده

ظهور و گسترش سریع نژادهای بیماریزای عوامل زنگ‌های گندم تحقیقات را به سمت یافتن منابع مقاومت پایدار هدایت کرده است. مقاومت تدریجی (Slow rusting) نوعی مقاومت نژاد غیراختصاصی و پایدار است. در این مطالعه به منظور تشخیص منابع احتمالی دارای مقاومت پایدار نسبت به زنگ ساقه، پارامترهای مقاومت تدریجی شامل ضریب آلودگی (CI)، شدت نهایی بیماری (FRS)، نرخ آلودگی ظاهری (r) و مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) در ۴۶ لاین گندم همراه با شاهد حساس (مخلوط رقم McNair و لاین CD-90-12) طی سال‌های زراعی ۹۵-۹۶ و ۹۵-۹۶ در مزرعه آزمایشی ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل ارزیابی شدند. ارزیابی لاین‌ها تحت شرایط آلودگی طبیعی و در برابر جمعیت نژادی دارای پرازاری برای ژن‌های مقاومت Sr25، Sr5، Sr6، Sr7a، Sr23، Sr28، Sr29، Sr30، Sr33، Sr34، Sr37، SrDP2، SrGT، SrPL، SrWLD، SrH و SrTmp انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که لاین‌های گندم M-93-13، M-93-14، M-93-16 و M-93-20 مقادیر پایینی از CI، FRS، r و rAUDPC نشان دادند و به‌عنوان لاین‌های دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی در نظر گرفته شدند. لاین‌های شماره C-93-10، C-94-6، C-94-8، CD-94-6، M-93-3، M-93-12 و M-93-18 مقادیر متوسطی از پارامترهای مقاومت به زنگ ساقه را نشان دادند و به‌عنوان لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی برای زنگ ساقه در نظر گرفته شدند. ۲۵ لاین نیز دارای سطح پایین مقاومت تدریجی و بقیه لاین‌ها در گروه لاین‌های حساس و بدون هیچ نوع مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند. لاین‌های دارای سطح مطلوب و متوسط مقاومت تدریجی که از این مطالعه تشخیص داده شدند، می‌توانند برای معرفی رقم کاندید شده یا در برنامه‌های به‌نژادی گندم نسبت به زنگ ساقه استفاده شوند.

کلمات کلیدی: زنگ سیاه، پرازاری، مقاومت نسبی، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

Evaluation of slow rusting resistance to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in some elite wheat lines

Safarali Safavi¹*, Farzad Afshari²

¹Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ardabil, Iran. ²Department of Cereal Research, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. * Safaralisafavi@yahoo.com

Received: 26 Dec 2020

Revised: 29 Jan 2020

Accepted: 3 Feb 2021

Abstract

The emergence and rapid spread of virulent races of wheat rusts has driven a search for sources of resistance for durable resistance. Slow rusting resistance, a kind of race-nonspecific resistance, has been reported to be more durable. In this study in order to identify possible sources of durable stem rust resistance between elite wheat lines, slow rusting parameters including coefficient of infection (CI), final rust severity (FRS), apparent infection rate (r) and relative area under disease progress curve (rAUDPC) were evaluated in a set of forty-six wheat lines along with susceptible control (mixture of McNair and the line CD-90-12) in 2015-2016 and 2016-2017 cropping seasons. This study was conducted in field plots at Ardabil Agricultural Research Station (Iran). All lines were evaluated under natural infection conditions against race population having virulence to resistance genes; Sr25, Sr5, Sr6, Sr7a, Sr23, Sr28, Sr29, Sr30, Sr33, Sr34, Sr37, SrDP2, SrGT, SrPL, SrWLD, SrH and SrTmp. Results of evaluations for resistance parameters showed that the lines M-93-13, M-93-14, M-93-16 and M-93-20 had low level of CI, FRS, r and rAUDPC so were considered as lines having high levels of slow rusting resistance. The lines C-93-10, C-94-6, C-94-8, CD-94-6, M-93-3, M-93-12 and M-93-18 had moderate level of slow rusting resistance and 25 lines with high values of CI, FRS, r and rAUDPC were grouped as lines having low level of slow rusting resistance. The rest lines without slow rusting resistance were considered as susceptible group. The lines with high and moderate levels of slow rusting resistance can be used in breeding programs or releasing new resistant cultivars.

Keywords: AUDPC, Black rust, Partial resistance, Virulence

How to cite:

Sfavi SA, Afshari F. 2021. Evaluation of slow rusting resistance to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in some elite wheat lines. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 10 (3): 15-28.

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در جهان بوده و به‌عنوان غذای اصلی بسیاری از مردم به‌ویژه در کشورهای آسیای مرکزی، غربی و شمال آفریقا (CWANA) و از جمله ایران محسوب می‌شود. حدود ۵/۸ میلیون هکتار از اراضی ایران برای کشت گندم اختصاص دارد که تولید سالیانه آن ۱۳/۷ میلیون تن است (Ahmadi et al. 2020). با وجود این، تولید گندم بوسیله تنش‌های غیر زنده و زنده از جمله زنگ‌ها تهدید می‌شود. زنگ ساقه با عامل *Puccinia graminis* Pers f. sp. *tritici* Eriks. & E. Henn. (Pgt) یکی از عوامل محدود کننده تولید گندم در بسیاری از کشورهای تولید کننده این محصول به شمار می‌رود (Denbel et al. 2013)، که اغلب کاهش عملکرد آن روی رقم حساس تا ۱۰۰ درصد نیز می‌رسد (Park 2007).

این بیماری از سال‌ها پیش در مناطق شمالی و شمال غرب ایران وجود داشته است و در منطقه مازندران و گرگان شدت آن از زنگ زرد بیشتر بوده است. همچنین به علت مساعد بودن شرایط محیطی در سال ۱۳۵۵ در نقاط جنوبی به‌ویژه جنوب شرقی کشور، این بیماری مزارع گندم را آلوده و تا ۹۰ درصد به محصول خسارت وارد نموده است (Bamdadian & Torabi 1978). در تحقیقی (Afshari 2000)، میزان خسارت زنگ سیاه بر روی یک رقم حساس گندم را تا ۸۰ درصد و روی رقم نیمه‌حساس گندم با ۱۰ روز رسیدگی فیزیولوژیک زودتر را تا ۴۰ درصد گزارش کرد.

تا به حال ۷۲ ژن مقاومت مختلف برای زنگ سیاه گزارش شده است که بیشتر آنها ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای می‌باشند (Singh et al. 2015). بکارگیری ژن‌های مقاومت موثر در مناطق عمده تولید گندم، تولید جهانی محصول را برای مدت بیش از ۴۰ سال (تا سال ۱۹۹۹) حفاظت کرده بود. تا قبل از سال ۱۹۹۹، تغییرات نژادی در جمعیت عامل بیماری زنگ سیاه دیده نشد و به این دلیل تحقیقات بین المللی بر روی این بیماری محدود شده بود (Singh et al. 2006). در سال ۱۹۹۹، نژاد جدیدی از Pgt بنام Ug99 در اوگاندا پیدا شد (Pretorius et al. 2000). این نژاد حامل ژن بیماری‌زایی روی ژن مقاومت Sr31 بود، که از چاودار به گندم منتقل شده است و برای مدت بیش از ۳۰ سال موثر باقی مانده بود (Wanyera et al. 2006). نژاد Ug99 از این ناحیه به خاورمیانه و آسیای جنوبی انتشار یافته است (Nazari et al. 2009; Singh et al. 2009). در حال حاضر نژاد Ug99 به نژادهای جدید دیگری تکامل یافته و ژن‌های مقاومت بیشتری را تحت تاثیر قرار داده است که از جمله آنها

می‌توان به Sr24، Sr36 (Jin et al. 2008, 2009) و SrTmp (Patpour et al. 2016) اشاره کرد.

از میان چندین ژن Sr (ژن مقاومت به زنگ ساقه) شناسایی شده، حداقل ۲۷ ژن نسبت به گروه نژادی Ug99 موثر یا نسبتاً موثر هستند که از بین آنها می‌توان Sr33 و Sr35 را نام برد که به‌ترتیب از *Aegilops tauschii* Coss. و *Triticum monococum* L. منتقل شده‌اند (Periyannan et al. 2013; Saintenac et al. 2013; Yu et al. 2014). خطر اصلی استفاده از ژن‌های نژاد- اختصاصی، توانایی پاتوژن‌ها برای شکستن آنها است و این زمانی است که آنها به‌تنهایی در ارقام به‌کار گرفته می‌شوند. بنابراین تلاش برای تشخیص و تلفیق ژن‌هایی که مقاومت پایدار را موجب می‌شوند، مهم و ضروری است.

امروزه کنترل زنگ‌ها با قارچ‌کش‌های جدید امکان پذیر شده است (Chen 2013). با وجود این، کشت ارقام مقاوم ساده‌ترین، موثرترین، اقتصادی‌ترین و از لحاظ زیست‌محیطی سالم‌ترین روش کنترل بیماری است. دو نوع مقاومت کمی (افقی یا پرژنی) و کیفی (عمودی، تک‌ژنی یا با تعداد کم ژن) در چندین پاتوسیستم زنگ- غلات گزارش گردیده است (Sandoval-Islas et al. 2007). بکار- گیری ژن‌های مقاومت کیفی (نژاد- اختصاصی) کنترل موثر و کاملی در برابر بیماری فراهم می‌کند (Shah et al. 2010). اما این نوع مقاومت که به تشخیص اختصاصی بین فراورده ژن غیر- بیماری‌زایی پاتوژن (Avr) و فراورده ژن مقاومت میزبان (R) بستگی دارد، از تئوری ژن برای ژن (Flor 1956) پیروی می‌کند. این نوع مقاومت پایدار نبوده و با ظهور نژادهای پراآزار جدید شکسته می‌شود (Boyd 2005). برخلاف مقاومت کیفی، مقاومت کمی (نژاد- غیر اختصاصی) اساس چندژنی داشته و اغلب به‌عنوان مقاومت تدریجی و یا مقاومت نسبی تعریف شده (Parlevliet 1979) و مقاومت پایداری می‌باشد (Herrera-Fossel et al. 2007) و از تئوری ژن برای ژن پیروی نمی‌کند. تاکنون دو نوع مقاومت کمی، یعنی مقاومت نسبی یا تدریجی (Slow Rusting) و مقاومت گیاه بالغ در درجه حرارت بالا (High Temperature Adult Plant Resistance = HTAPR) به‌طور وسیعی بررسی شده‌اند (Line, 2002). مقاومت تدریجی نوعی از مقاومت میزبان است که نژاد- غیراختصاصی بوده و پایدار می‌باشد (Sawhney 1995). مقاومت تدریجی، اغلب به عنوان مقاومت نسبی یا مقاومت گیاه بالغ نیز تعریف می‌شود. چنین مقاومتی چندژنی بوده و با کاهش فراوانی

محققین همبستگی بالای پارامترهای شدت نهایی بیماری، ضریب آلودگی و سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری با یکدیگر مشخص گردیده است. از آنجایی که سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) معیار کمی از کل مقاومت بوده و تمام مولفه‌های مقاومت نظیر فراوانی آلودگی، دوره نهان آلودگی، اندازه اوریدیونیوم و اسپورزایی را در یک سطح مشخص می‌سازد (Milus & Line 1986)، بنابراین در بسیاری از مطالعات مربوط به ارزیابی مقاومت نسبی مورد استفاده قرار گرفته است. علت مطالعه پارامترهای مقاومت تدریجی در شرایط مزرعه‌ای، همبستگی پایین ($r = 0.5$) برخی مولفه‌های مقاومت در شرایط گلخانه‌ای (گیاهچه‌ای) با مولفه‌های مذکور در شرایط گیاه بالغ است (Sandoval-Islas et al. 2007). از طرف دیگر از آنجا که بیان ژن‌های مقاومت نژاد-غیراختصاصی (مانند مقاومت تدریجی) در مرحله گیاه بالغ انجام می‌گیرد (Singh et al. 2011a)، بنابراین بایستی پارامترهای چنین مقاومتی در مزرعه مطالعه شوند.

با توجه به تکامل و انتشار سریع نژادهای بیماریزای جدید زنگ ساقه، شکست مقاومت غالب ارقام جدید و محدودیت دسترسی به منابع مقاومت پایدار، توسعه ارقام گندم جدید با استفاده از منابع مختلف مقاومت ضروری است. بنابراین، با توجه به وقوع شدید بیماری زنگ سیاه در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در اردبیل (Safavi & Malihipour 2018) و پرآزاری جمعیت نژادی اردبیل برای ژن‌های مهم مانند *SrTmp* (Safavi & Malihipour 2020) و *Sr25* (Safavi & Afshari 2017a)، در بررسی حاضر نیز پارامترهای مقاومت تدریجی (Slow rusting) در مرحله گیاه بالغ و در شرایط مزرعه‌ای برای ۴۶ لاین امیدبخش گندم مطالعه شدند تا ضمن شناسایی منابع مقاومت تدریجی، اقدام موثری در خصوص برنامه‌های به نژادی گندم برای مدیریت پایدار زنگ سیاه در ایران برداشته شده باشد.

مواد و روش‌ها

با توجه به وقوع شدید بیماری زنگ سیاه در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در اردبیل و پرآزاری جمعیت نژادی اردبیل برای ژن‌های مقاومت مهم مانند *Sr25*، *Sr5*، *Sr6*، *Sr7a*، *Sr9f*، *Sr23*، *Sr28*، *Sr29*، *Sr30*، *Sr33*، *Sr34*، *Sr37*، *SrDP2*، *SrGT*، *SrPL*، *SrWLD*، *SrH* (Safavi & Malihipour 2018) و *SrTmp* (Safavi & Malihipour 2020)، ۴۶ لاین گندم (مربوط به اقلیم معتدل و سرد)

آلودگی و کند کردن رشد و گسترش پاتوژن، باعث طولانی شدن دوره نهان آلودگی و در نتیجه کاهش سرعت همه‌گیری می‌شود. طبق پژوهش (Yu et al. 2014)، به‌طور کلی پنج ژن مقاومت زنگ ساقه که مقاومت کمی را موجب می‌شوند، شامل ژن‌های *Sr58*، *Sr57*، *Sr2*، *Sr56* و *Sr55* می‌باشند. اثرات ژن‌های مقاومت نژاد-غیراختصاصی در مراحل رشدی بعد از گیاهچه‌ای زیادتر می‌شوند (Nzuve et al. 2012). این ژن‌ها با واکنش‌های بدون فوق حساسیت (Hypersensitive) همراه هستند (Singh et al. 2004; Navabi et al. 2009).

ارقام گندم مقاوم به زنگ‌ها از برنامه‌های تحقیقات ملی و یا با همکاری مراکز بین‌المللی معرفی و توسعه داده شده‌اند. با وجود این، بیشتر این ارقام دارای مقاومت پایدار نبوده و در مدت کوتاهی بعد از معرفی حساس می‌شوند. در بیشتر موارد، شکستن مقاومت در نتیجه ظهور نژادهای بیماریزای جدید و یا با بکارگیری ژن‌های مقاومت یکسان در دامنه وسیعی از ارقام جدید، بوده است (Admassu et al. 2012).

در زمینه ارزیابی مقاومت ارقام و لاین‌های گندم نسبت به زنگ سیاه از سال‌ها پیش تحقیقات متعددی در ایران انجام گرفته است. (Patpour et al. 2014)، (Afshari 2012) و (Omran et al. 2020) واکنش ارقام یا لاین‌های مختلف را در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و گیاه بالغ و یا گیاهچه‌ای بررسی کرده‌اند. در نتایج این محققین تعداد بسیار کمی از ارقام دارای واکنش مقاومت گیاهچه‌ای (کیفی) و تعدادی نیز دارای واکنش نیمه‌حساسیت در مرحله گیاه کامل بوده‌اند. در بررسی‌های بسیاری از محققین به‌طور میانگین ۹۰ درصد از ژنوتیپ‌های جهانی در برابر نژادهای جدید زنگ ساقه حساس هستند (Singh et al. 2011a,b).

در بسیاری از پاتوسیستم‌های زنگ-غلات، مفاهیم کمی مقاومت ارقام تشریح شده و مقادیر آن در مرحله گیاه بالغ با اندازه-گیری شدت بیماری در مرحله مشخصی از رشد گیاه، سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (Area Under Disease Progress Curve) (=AUDPC)، نرخ آلودگی ظاهری (Apparent infection rate) و متوسط ضریب آلودگی (Average coefficient of infection) برآورد می‌شوند (Broers et al. 1996; Pathan & Park 2006). محققین مختلفی با استفاده از این پارامترها مقادیر کمی مقاومت ارقام و لاین‌ها را در سطح مزرعه مشخص کرده‌اند (Sandoval-Islas et al. 2007; Ali et al. 2007; Shah et al. 2010; Safavi et al. 2017; Hei et al. 2015; Singh et al. 2021).

برای محاسبه ضریب آلودگی داده‌های مربوط به شدت بیماری و تیپ آلودگی با هم ترکیب شدند. به عبارت دیگر، ضریب آلودگی از ضرب شدت بیماری در ثابت مربوط به تیپ آلودگی (Immune = 0.0, R = 0.2, MR = 0.4, M = 0.6, MS = 0.8, MSS = 0.9, S = 1) به دست آمد (Stubbs et al. 1986).

محاسبه سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) بر اساس روش Milus & Line (1986) مطابق با فرمول زیر:

$$AUDPC = ((N_1 (X_1 + X_2)/2) + (N_2 (X_2 + X_3)/2))$$

محاسبه شد که در این فرمول:

AUDPC = سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری

N_1 = فاصله اولین یادداشت برداری با دومین یادداشت برداری به روز

N_2 = فاصله دومین یادداشت برداری با سومین یادداشت برداری
 X_1, X_2, X_3 به ترتیب ضریب آلودگی اولین، دومین و سومین یادداشت برداری می‌باشند.

همچنین برای محاسبه مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (rAUDPC) از فرمول زیر استفاده شد:

$$rAUDPC = AUDPC \text{ رقم حساس } / (AUDPC \times 100 \text{ هر لاین})$$

نرخ آلودگی ظاهری نیز مطابق روش Van der Plank (1968) براساس فرمول زیر برای هر لاین محاسبه شد:

$$r = 1/\Delta t [(\ln(x_2/1-x_2)) - (\ln(x_1/1-x_1))]$$

که در آن $\Delta t = t_2 - t_1$ ، t_1 و t_2 زمان‌های یادداشت برداری و x_1 و x_2 شدت بیماری یادداشت شده در زمان‌های مذکور می‌باشد. گروه بندی لاین‌ها براساس مقادیر مختلف مقاومت تدریجی به روش Patahn & Park (2006) و Ali et al. (2009) انجام شد. همچنین به منظور تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها و رسم نمودارها، به ترتیب از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۸) و Excel استفاده گردید. گروه‌بندی نمونه‌ها با تجزیه خوشه‌ای بر اساس روش Ward و با در نظر گرفتن حداقل فاصله اقلیدسی بین نمونه‌ها انجام گرفت.

همراه با مخلوط شاهد حساس (جدول ۱) تحت شرایط مزرعه‌ای و در برابر جمعیت نژادی زنگ سیاه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل (واقع در فاصله ۱۲ کیلومتری جنوب غربی جاده اردبیل-خلخال با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا) ارزیابی شدند.

در فصل پاییز (اواخر آبان سال‌های ۹۴ و ۹۵) هر کدام از لاین‌ها به میزان هشت گرم روی دو خط یک متری با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر روی یک پشته کاشته شدند و بعد از هر ۱۰ رقم و نیز در کل حاشیه آزمایش روی دو خط یک متری (یک پشته) مخلوط رقم حساس McNair و لاین CD-90-12 (استفاده از مخلوط حساس به این دلیل بود که در سال‌های قبل بر اساس تجارب شخصی و در شرایط مزرعه‌ای، بیماری به نحو مطلوبی روی رقم McNair ظاهر نمی‌شد) کشت شد. آزمایش در سه تکرار انجام شد و در طول فصل زراعی عملیات داشت شامل آبیاری غرقابی، وجین علف‌های هرز و کودپاشی انجام شد. در بررسی مزرعه‌ای، پارامترهای مختلف مقاومت تدریجی شامل شدت نهایی بیماری (Final Rust Severity: FRS)، ضریب آلودگی (Coefficient of Infection: CI)، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری (relative Area Under Disease Progress Curve: rAUDPC) و نرخ آلودگی ظاهری (Apparent infection rate: r) ارزیابی شدند. استقرار بیماری به‌طور طبیعی شروع و با مشاهده علائم آن روی مخلوط حساس یادداشت برداری شروع شد. یادداشت برداری از شدت بیماری زنگ سیاه (سطح ساقه آلوده شده از صفر تا ۱۰۰ درصد)، در سه تا چهار نوبت و به فاصله هر ۶-۷ روز یک‌بار از زمان ظهور ۴۰٪ بیماری روی شاهد حساس و براساس مقیاس اصلاح شده کاب پیشنهادی Peterson et al. (1948) انجام شد. استقرار بیماری به‌طور طبیعی و با مشاهده علائم روی مخلوط حساس بود. با مشاهده ۴۰ درصد بیماری روی رقم حساس اولین یادداشت برداری شروع شد. همچنین از تیپ آلودگی (Infection type: IT) بر اساس روش Roelfs et al. (1992) یادداشت برداری گردید. یادداشت برداری از مرحله گلدهی تا مرحله خمیری گیاه ادامه داشت.

جدول ۱. شجره لاین‌های امیدبخش گندم استفاده شده برای ارزیابی مقاومت تدریجی نسبت به زنگ سیاه.

Table 1. Pedigree of elite wheat lines used for evaluation of slow rusting parameters against stem rust.

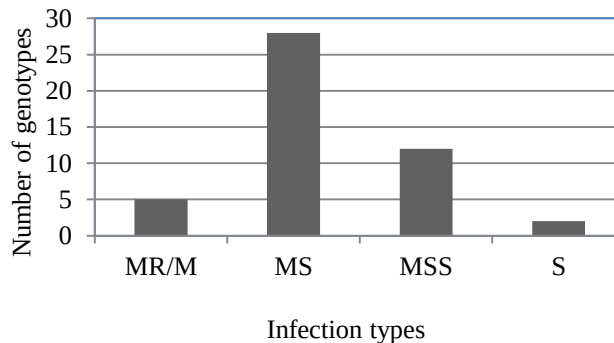
No.	Line code	Pedigree/Parents
1	C-93-1	Oroum (Alvand//NS732/Her)
2	C-93-2	Zareh (130L1.11//F35.70/Mo73/4/Ymh/Tob//Mcd/3/Lira)
3	C-93-3	Mihan (Bkt/90-Zhong 87)
4	C-93-4	Nwau15/Attila//Shark/F4105W2.1
5	C-93-5	Eryt 1554.90/MV17
6	C-93-6	Spn/Mcd//Cama/3/Nzr/4/Ald"s"/Snb"s"*2/5/Opata*2/Wulp
7	C-93-7	Bow/Crow/3Rsh//Kal/Bb/3/Gun91
8	C-93-8	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1
9	C-93-9	Bluegil-2/BucuR//Sirena
10	C-93-10	Ajvina
11	C-93-11	Gul96/Shark-1
12	CD-93-5	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1
13	CD-93-7	4WON-IR-257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos
14	CD-93-8	4WON-IR-257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos
15	C-94-5	Ji5418/Maras//Shark/F4105W2.1
16	C-94-6	Charger/OWL 85224*-3H-*O-*HOH//Alvd
17	C-94-7	Shark-1/3/Agri/Bjy//Vee/4/Shark/F4105W2.1
18	C-94-8	Bluegil-2/Bucur//Sirena
19	C-94-9	Or2071681
20	CD-94-4	4WON-IR-257/5/Ymh/Hys//Hys/Tur3055/3/Dga/4/Vpm/Mos
21	CD-94-5	Ga961565-27-6/La95283Ca-78-1-2
22	CD-94-6	Ald"s"/Snb"s"/Zrn*2/3/Yaco/Parus//Parus
23	CD-94-8	Shark-1/3/Agri/Bjy//Vee/4/Shark/F4105W2.1
24	CD-94-9	Zarrin/Shiroodi/6/Zarrin/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/Kal*3//Emu
25	CD-94-10	Turkoaz
26	CD-94-11	Gaspard/3/Ald/Snb//Zrn
27	M-93-1	Parsi (Dove"s"/Buc"s"/2/Darab)
28	M-93-2	Sirvan (Kauz "s" / Azadi)
29	M-93-3	Baharan (KAUZ/PASTOR//PBW343)
30	M-93-4	WS-90-10 (Falat/Barakat/ 5/Omid/4/ Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal/Emu)
31	M-93-5	WS-90-18 (CROC_1/AE.SUARROSA (2247)//OPATA/3/PASTOR)
32	M-93-6	M-90-16 (SHARP/3/PRL/SARA/TSI/VEE#5/5/VEE/LIRA//BOW/3/BCN/4/KAUZ)
33	M-93-7	MV 17/2*Pishtaz
34	M-93-8	LUFER-1/KINACI97
35	M-93-9	BUC/PVN//MILAN/3/TX96V2427
36	M-93-10	Pishtaz*2/3/687 VD /Bayat//Vee"s"
37	M-93-11	Shiraz/SW89 1882//Kavkaz
38	M-93-12	WHEAR//2*PRL/2*PASTOR
39	M-93-13	WBLL1*2/KUKUNA*2//WHEAR
40	M-93-14	BABAX/LR42//BABAX/3/VORB
41	M-93-15	PASTOR/3/URES/JUN//KAUZ/4/WBLL1
42	M-93-16	WAXWING*2/HEILO
43	M-93-17	PRL/2*PASTOR*2//SKAUZ/BAV92
44	M-93-18	ALD/COC//URES/5/VEE/LIRA//BOW/3/BCN/4/KAUZ/6/SAUAL
45	M-93-19	SOKOLL*2/3/PASTOR//MUNIA/ALTAR 84
46	M-93-20	FRET2*2/4/SNI/TRAP#1/3/KAUZ*2/TRAP//KAUZ/5/ONIX
47	Check	(Mixture of McNair and CD-90-12)

نتایج و بحث

درصد شاهد حساس نشان دادند (شکل ۱، جدول ۲). لاین‌های

شماره C-93-2، C-93-3، C-93-6، C-93-7، CD-93-7، CD-93-،
8، C-94-7، C-94-9، CD-94-11، M-93-4، M-93-5 و M-93-7 و
واکنش نیمه‌حساسیت تا حساسیت (MSS) و با شدت آلودگی ۶۷
تا ۸۳ درصد شاهد حساس نشان دادند. تعداد ۲۸ لاین (۵۹/۵٪)

بر اساس نتایج بررسی واکنش گیاه بالغ طی دو سال ۱۳۹۵ و
۱۳۹۶، لاین‌ها در گروه‌های مختلفی قرار گرفتند. لاین‌های M-93-
13، M-93-14، M-93-16، M-93-20 و C-93-10 واکنش نیمه-
مقاوم یا حدواسط (MR/M) و با شدت آلودگی کمتر از ۵۰-۳۰



شکل ۱. توزیع تیپ‌های مختلف واکنش نسبت به زنگ ساقه در بین ژنوتیپ‌های گندم امیدبخش طی دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۴ در اردبیل.
Figure 1. Distribution of different infection types (IT) against stem rust among elite wheat genotypes during the two cropping seasons 2015-17 in Ardabil.

مقاومت به زنگ ساقه را نشان دادند و به‌عنوان لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی برای زنگ ساقه در نظر گرفته شدند. تعداد ۲۵ لاین (۵۳٪) نیز دارای سطح پایین مقاومت تدریجی و بقیه لاین‌ها (C-93-1, C-93-2, C-93-7, C-94-9, CD-94-11, M-93-1, M-93-5, M-93-7) همراه با شاهد حساس که ضریب آلودگی بالاتر از ۶۰ نشان دادند به عنوان گروه حساس و بدون هیچ نوع مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند.

برخی از لاین‌ها در شجره خود دارای ارقام Babax, Kukuna, Trap و Pastor هستند، این ارقام به دلیل دارا بودن چند ژن مقاومت تدریجی نسبت به زنگ زرد، سیاه و قهوه‌ای و حتی برخی بیماری‌های دیگر مقاومت پایداری را در رقم معرفی شده اعطا می‌کنند. از جمله این ژن‌ها می‌توان به ژن‌های مقاومت غیر نژاد- اختصاصی Yr18, Yr29, Yr30, Yr36, Yr46 و ژن‌های ناشناخته دیگر اشاره کرد، که به صورت انفرادی یا در ترکیب با یکدیگر در ژرم پلاسما مقاوم مانند Chapio, Tukuru, Kukuna, Vivitsi, Pastor و Trap (Singh et al. 2015; Singh et al. 2011a,b) وجود دارند. اخیراً برخی از این ارقام (ژرم پلاسما) در تلاقی‌های مربوط به برخی از لاین‌های امیدبخش گندم ایران (به غیر از لاین‌های مورد بررسی در این تحقیق) به کار گرفته شده‌اند (Safavi 2021).

تدریجی در برابر زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای هستند. ژن مقاومت کوچک‌اثر Yr30 که در چندین رقم گندم با منشا سیمیت یافت شده است، در ناحیه کروموزومی حامل ژن مقاومت پایدار Sr2 که نسبت به برخی از نژادهای عامل زنگ سیاه (ساقه) مقاوم هستند، یافت می‌شود (Singh et al. 2000).

هم واکنش نیمه حساسیت (MS) و لاین C-93-1 همراه با شاهد حساس واکنش حساسیت (S) نشان دادند. در بررسی حاضر داده‌های پارامترهای مقاومت تدریجی (شامل شدت نهایی بیماری، ضریب آلودگی، مقدار نسبی سطح زیر منحنی پیشرفت بیماری و نرخ آلودگی ظاهری) نشان دادند که گروه‌های مختلف لاین‌ها واکنش‌های متفاوتی نسبت به فشار بیماری نشان می‌دهند (جدول ۲) که در بخش‌های جداگانه‌ای به طور تفصیلی در خصوص تنوع هر یک از پارامترهای مقاومت در لاین‌های مختلف بحث می‌شود.

تنوع پارامتر ضریب آلودگی

به منظور محاسبه ضرایب آلودگی، ترکیب داده‌های شدت بیماری و واکنش میزبان استفاده شدند. براساس روش (Patahn & Park 2006) و (Ali et al. 2009) ارقام یا لاین‌هایی با مقادیر ضریب آلودگی ۰-۲۰، ۲۱-۴۰، ۴۱-۶۰ به ترتیب دارای مقاومت تدریجی سطح بالا، متوسط و پایین در نظر گرفته می‌شوند. در این بررسی لاین‌های M-93-13, M-93-14, M-93-16 و M-93-20 در دسته اول (گروه دارای سطح بالای مقاومت تدریجی) قرار گرفتند (جدول ۲). البته بایستی توجه داشت که این لاین‌ها هر چند در گروه اول قرار گرفته‌اند، ولی از یک طرف به دلیل داشتن تیپ آلودگی پایین در مرحله گیاه بالغ ممکن است دارای مقاومت نژاد- اختصاصی باشند اما از طرف دیگر، از آنجا که ژن‌های مقاومت نژاد- غیر اختصاصی توسط ژن‌های مقاومت گیاهچه‌ای پوشیده می‌مانند (Chen 2005; Dadrezaie et al. 2013) لاین‌های نام برده شده، دارای ژن‌های مقاومت گیاه بالغ نیز هستند.

لاین‌های شماره شماره C-93-10, C-94-6, C-94-8, C-94-9, CD-94-6, M-93-3, M-93-12 و M-93-18 مقادیر متوسطی از پارامترهای

جدول ۲. میانگین پارامترهای مقاومت تدریجی و تیپ آلودگی لاین‌های امید بخش گندم در مرحله گیاه بالغ نسبت به زنگ سیاه.

Table 2. Means of slow rusting resistance parameters and infection types against stem rust in elite wheat lines.

No.	Line code	Infection type ²	Means of slow rusting parameters ¹			
			FRS	CI	rAUDPC	r
1	C-93-1	S	99	99	97	0.250
2	C-93-2	MSS	73	66	72	0.135
3	C-93-3	MSS	70	63	56	0.158
4	C-93-4	MS	60	48	37	0.176
5	C-93-5	MS	60	48	39	0.178
6	C-93-6	MSS	67	60	60	0.139
7	C-93-7	MSS	80	72	81	0.150
8	C-93-8	MS	57	45	43	0.148
9	C-93-9	MS	67	53	54	0.144
10	C-93-10	M	50	30	38	0.123
11	C-93-11	MS	63	50	57	0.138
12	CD-93-5	MS	53	50	39	0.188
13	CD-93-7	MSS	70	63	59	0.168
14	CD-93-8	MSS	67	60	60	0.220
15	C-94-5	MS	60	48	52	0.148
16	C-94-6	MS	47	38	33	0.137
17	C-94-7	MSS	67	60	55	0.180
18	C-94-8	MS	50	40	46	0.102
19	C-94-9	MSS	86	77	91	0.143
20	CD-94-4	MS	63	50	56	0.139
21	CD-94-5	MS	57	46	45	0.169
22	CD-94-6	MS	50	40	37	0.133
23	CD-94-8	MS	57	46	52	0.120
24	CD-94-9	MS	60	48	45	0.123
25	CD-94-10	MS	67	54	59	0.118
26	CD-94-11	MSS	73	66	72	0.107
27	M-93-1	MS	73	58	71	0.163
28	M-93-2	MS	60	48	55	0.110
29	M-93-3	MS	50	39	40	0.103
30	M-93-4	MSS	67	61	58	0.113
31	M-93-5	MSS	83	75	80	0.164
32	M-93-6	MS	60	48	49	0.129
33	M-93-7	MSS	73	66	71	0.135
34	M-93-8	MS	57	46	44	0.109
35	M-93-9	MS	63	50	56	0.114
36	M-93-10	MS	60	48	52	0.103
37	M-93-11	MS	60	48	50	0.120
38	M-93-12	MS	50	40	45	0.094
39	M-93-13	MR	27	11	21	0.067
40	M-93-14	MR	27	11	21	0.067
41	M-93-15	MS	57	46	49	0.105
42	M-93-16	M	30	18	25	0.092
43	M-93-17	MS	60	48	53	0.122
44	M-93-18	MS	50	40	43	0.092
45	M-93-19	MS	60	48	49	0.120
46	M-93-20	M	33	20	28	0.091
47	Check	S	100	100	100	0.271

1: Slow rusting parameters including; FRS= Final rust severity, CI=Coefficient of Infection, rAUDPC= relative Area under disease progress curve, r= Apparent infection rate.

2: Infection types based on Roelfs *et al.* (1992). MR= moderately resistant, M= moderately resistant to moderately susceptible, MS= moderately susceptible, MSS= moderately susceptible to susceptible, S= susceptible.

(Foessel *et al.* 2011). این ژن‌های مقاومت، مسئول مقاومت ژن-های Yr29 و Yr30 بطور گسترده‌ای در ژرم پلاسما گندم سیمیت توزیع شده اند (Singh *et al.* 2015). ژن‌های Yr18/Lr34 با نکرور

مطالعات اخیر در سیمیت (CIMMYT) نشان داده است که ژن Lr46 با ژن Yr29 پیوستگی دارد (Singh *et al.* 2005). ژن مقاومت Yr46 نیز با ژن مقاومت Lr67 پیوستگی دارد (Herrera-)

خواهد گرفت. زنگ‌های غلات توانایی تغییر توسط عوامل مختلفی نظیر جهش (موتاسیون)، نوترکیبی حاصل از تولید مثل جنسی یا هیبریداسیون، مهاجرت در مسافت‌های طولانی و فشار انتخابی ژنوتیپ میزبان روی بیمارگر را دارند (Hovmoller et al. 2011). با توجه به این توانایی بیمارگر در تغییر پرآزاری، محققین بایستی چند ژن مقاومت نژاد- غیر اختصاصی یا ترکیب ژن مقاومت نژاد- غیر اختصاصی با مقاومت نژاد- اختصاصی موثر را به جای استفاده تنها از مقاومت نژاد- اختصاصی به کار گیرند.

بعد از ظهور نژاد Ug99 که دارای پرآزاری روی ژن *Sr31* بود، ژن های *Sr25* و *SrTmp* توسط محققین زیادی مورد توجه قرار گرفتند. علت توجه به این ژن‌ها، مقاومت آنها در برابر نژاد Ug99 و برخی از واریانتهای (Variants) آن بود (Singh et al. 2011a,b). با توجه به وقوع پرآزاری روی ژن های *Sr25* (Safavi & Afshari 2017a) و *SrTmp* (Safavi & Malhipour 2020) در اردبیل چنین استنباط می‌شود که لاین‌های دارای مقاومت مطلوب و متوسط این ژن‌ها را حمل نمی‌کنند و یا در صورت دارا بودن این ژن‌ها، ژن‌های مقاومت نژاد- اختصاصی یا نژاد- غیر اختصاصی دیگری را در ترکیب با این ژن‌ها حمل می‌کنند.

تنوع لاین‌ها در شدت نهایی زنگ سیاه

داده‌های شدت نهایی بیماری (FRS) در ۴۶ لاین همراه با شاهد حساس (مخلوط رقم MacNair و لاین CD-90-12) در جدول ۲ نشان داده شده است. فشار بالای شدت بیماری در محل اجرای این پژوهش برای لاین‌های مورد آزمایش نشان داد که بیشترین آن ۱۰۰ درصد مربوط به شاهد حساس و لاین C-93-1 (با ۹۹ درصد شدت آلودگی) بود. برای لاین های C-94-9، C-93-7 و M-93-5 به ترتیب ۸۶٪، ۸۰٪ و ۸۰٪ برآورد شد که در کنار شش لاین دیگر به عنوان لاین‌های حساس گروه بندی شدند. بر اساس داده‌های شدت نهایی بیماری و مطابق روش (Ali et al. 2007) و (Hei et al. 2015) لاین‌های بررسی شده در این مطالعه در سه گروه دارای مقاومت تدریجی بالا، متوسط و پایین قرار گرفتند که به ترتیب مقادیر شدت نهایی بیماری در آنها ۳۰-۱٪، ۵۰-۳۱٪ و ۷۰-۵۱٪ بود. لاین‌های گندم M-93-13، M-93-14، M-93-16 و M-93-20 با مقادیر پایین FRS (۳۰-۱٪) سطح بالای مقاومت تدریجی داشتند. در حالی که لاین‌های شماره‌های ۱۰ C-93-10، C-94-6، C-94-8، CD-94-6، M-93-3، M-93-12 و M-93-18 با مقادیر شدت نهایی بیماری ۵۰-۳۱٪ و ضریب آلودگی ۴۰-۲۱٪ سطح متوسط مقاومت تدریجی داشتند. منحنی پیشرفت بیماری

نوک برگ (LTN) پیوستگی دارند. ژن های *Lr67/Yr46* نیز با درجه ای از نکرورز برگ پیوستگی دارند (Rosewarne et al. 2006). نکرورز نوک برگ یک ویژگی ریخت شناختی است که پیوستگی کامل با ژن‌های *Yr18* و *Lr34* نشان می‌دهد (Singh 1992) و در مواردی می‌تواند به عنوان نشانگر در تشخیص لاین‌های گندم حامل این ژن‌های مقاومت استفاده شوند (Shah et al. 2010).

در آخرین بررسی مشخص گردیده است که ژن *Yr46* با ژن‌های *Sr55* (دارای مقاومت تدریجی نسبت به زنگ سیاه) و ژن *Pm46* (دارای مقاومت تدریجی نسبت به سفیدک سطحی گندم) نیز پیوستگی دارد. ژن‌های *Yr18* و *Yr29* نیز به ترتیب با ژن‌های *Stb1*، *Pm38* (ژن مقاومت به لکه‌برگی سپتوریایی گندم)، *Bdv1*، *Sr57* و ژن‌های *Pm39*، *Lr46*، *Sr58* پیوستگی دارند (Singh et al. 2015).

با توجه به مقادیر ضریب آلودگی روی رقم حساس (جدول ۲) فشار بیماری به‌طور قابل توجهی بالا بود. بیشترین مقدار ضریب آلودگی ثبت شده در بین لاین‌های بررسی شده بین ۶۳-۹۹ درصد شاهد حساس بود که مربوط به ۱۰ لاین گروه حساس بود. در حالیکه بقیه ۳۶ لاین تا ۶۰ درصد شاهد حساس ضریب آلودگی داشتند. براساس این نتایج پاتوتیپ/پاتوتیپ‌های قارچ عامل زنگ سیاه اردبیل روی بیشتر لاین‌های ارزیابی شده دارای بیماری‌زایی می‌باشند (جدول ۲). با توجه به واکنش گیاه بالغ در لاین‌های بررسی شده در این مطالعه، هیچ لاینی ژن مقاومت نژاد- اختصاصی یا ترکیبی از ژن‌های مقاومت نژاد- اختصاصی را حمل نمی‌کند که بتواند در برابر طیف پرآزاری عامل بیماری در شرایط مزرعه‌ای اردبیل موثر باشد. توجه به این نکته ضروری است که لاین‌های دارای مقاومت نژاد- اختصاصی اغلب در عرض چند سال بعد از معرفی حساس می‌شوند. این حالت به علت تکامل سریع نژادهای بیماری‌زای بیمارگر است (Chen 2005; Singh et al. 2011a,b). برای جلوگیری از شکستن مقاومت چنین ارقامی بهتر است ترکیب دو نوع مقاومت نژاد- اختصاصی و نژاد- غیر اختصاصی در یک رقم بکار گرفته شود. وجود حداقل ۵-۴ ژن مقاومت غیر اختصاص- نژادی در یک رقم باعث مقاومت رقم در حد مصونیت خواهد بود (Singh et al. 2011a,b).

لاین‌های دارای مقاومت تدریجی مطلوب به دلیل داشتن دوره نهان آلودگی (Latent period) طولانی، سرعت همه‌گیری بیماری را کاهش داده و به طور مستقیم از تغییر نژادها اثر پذیر نیستند. مقاومت این لاین‌ها توسط تعدادی ژن کوچک‌اثر (Minor genes) کنترل می‌شوند، که غلبه بر آن در مزرعه زمان طولانی‌تری را

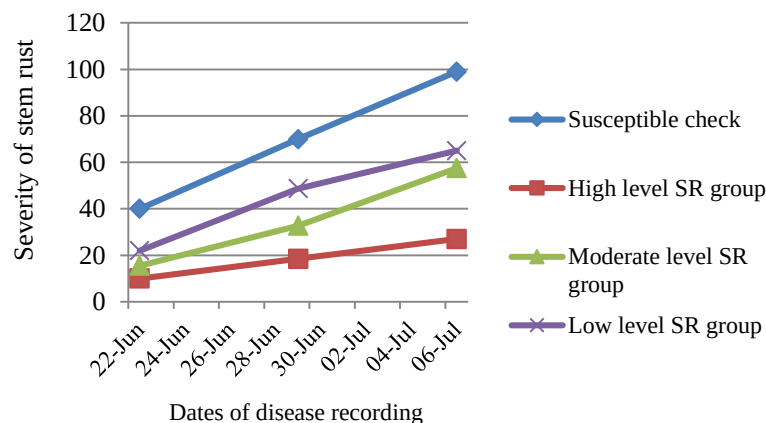
با ژن‌های دیگر مقاومت تدریجی مانند *Sr56*) و یا ژن‌های مقاومت گیاه بالغ در دمای بالا (*HTAPR*) زیاد است. از آنجا که این نوع مقاومت‌ها به دلیل اثر افزایشی ژن‌ها مدت زمان زیادی دوام می‌آورند (*Singh et al. 2011a,b*)، بنابراین بایستی بیشتر مورد توجه محققین غلات قرار گیرند.

تنوع لاین‌ها در مقادیر *rAUDPC*

بر اساس داده‌های *rAUDPC* لاین‌های امید بخش در دو گروه مجزا دسته‌بندی شدند. در این دسته‌بندی که بر اساس روش (*Ali et al. 2007*) انجام گرفت، گروه اول شامل لاین‌هایی است که مقدار *rAUDPC* آنها از ۱ تا ۳۰ درصد و گروه دوم شامل لاین‌هایی است که مقدار *rAUDPC* آنها از ۳۱ تا ۷۰ درصد بود. در این لاین‌ها، ابتدا بیماری زنگ شروع به اسپورزایی می‌کند اما در نهایت نوارهای نکروتیک و کلروتیک (تیپ‌های آلودگی *MS* یا *MR* یا هردو) در برگ دیده می‌شوند. بنابراین، پیشرفت بیماری کند شده و محدود می‌گردد. لاین‌های گروه یک به عنوان گروه دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی (یا نسبی) و لاین‌های گروه دو به عنوان لاین‌های دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی دسته‌بندی می‌شوند.

بر اساس شدت بیماری یادداشت برداری شده در تاریخ‌های مختلف در شکل دو مشاهده می‌گردد. در این شکل به وضوح تفاوت گروه‌های مختلف، از نظر سطح مقادیر مقاومت تدریجی مشخص است به طوری که در گروه‌های دارای سطح بالا و متوسط مقاومت نسبی، مقدار نهایی شدت بیماری بسیار پایین‌تر از گروه‌های دیگر است. طبق نظر محققین مختلف، ژنوتیپ‌های هر دو گروه ۱ و ۲ می‌توانند درجات مختلف مقاومت پایدار را دارا باشند و می‌توانند به عنوان والدین خوبی برای به‌نژادی به کار گرفته شوند (*Hei et al. 2015; Singh et al. 2017*). در بررسی واکنش ارقام و لاین‌های مختلف گندم نسبت به زنگ‌های زرد یا سیاه، محققین دیگری مانند (*Broers et al. 1996*)، (*Singh et al. 2017*) و (*Safavi & Afshari 2017b*) نیز از ارزیابی مزرعه‌ای مقاومت کمی استفاده نمودند. این محققین دریافتند که مقاومت ارقام یا لاین‌ها بر اساس پارمترهای مختلف تدریجی (یا کمی) از سطح خیلی پایین تا سطح خیلی بالا متغیر بودند.

لاین‌هایی که تیپ آلودگی متوسط (با واکنش‌های *MR*، *MS* و *M*) و شدت آلودگی پایینی دارند، چنین لاین‌هایی احتمالا دارای ژن‌های کوچک‌اثر بوده و به صورت افزایشی عمل می‌کنند (*Brown et al. 2001, Singh et al. 2015*). در این لاین‌ها احتمال وجود ژن‌های کنترل کننده مقاومت نسبی یا تدریجی (مانند *Sr2* همراه



شکل ۲. منحنی پیشرفت بیماری در ژنوتیپ حساس (رنگ آبی) و لاین‌های دارای سطح بالا (رنگ قرمز)، متوسط (سبز) و پایین مقاومت تدریجی (بنفش) نسبت به زنگ ساقه در سه تاریخ مختلف یادداشت برداری بیماری.

Figure 2. Disease progress curve in susceptible genotype (blue) and lines having high level (red), moderate level (green) and low-level slow rusting resistance (purple) against stem rust on three different disease recording dates.

(*Parlevliet 1979*). لاین‌های *M-93-13*، *M-93-14*، *M-93-16* و *M-93-20* مقادیر *rAUDPC* کمتر از ۳۰ درصد رقم حساس را نشان دادند و به عنوان ژنوتیپ‌های دارای سطح مطلوب مقاومت

علت این گروه‌بندی عدم داشتن پتانسیل اپیدمی بالا علی‌رغم بروز نشانه‌هایی با تیپ آلودگی بالا می‌باشد. انتظار می‌رود، لاین‌هایی با چنین ویژگی‌هایی دارای ژن‌هایی برای مقاومت نسبی باشند

متوسط مقاومت تدریجی نیز دارای نرخ آلودگی بین $r = 0.092$ تا $r = 0.137$ بودند.

تنوع ژنتیکی بر اساس تجزیه خوشه‌ای

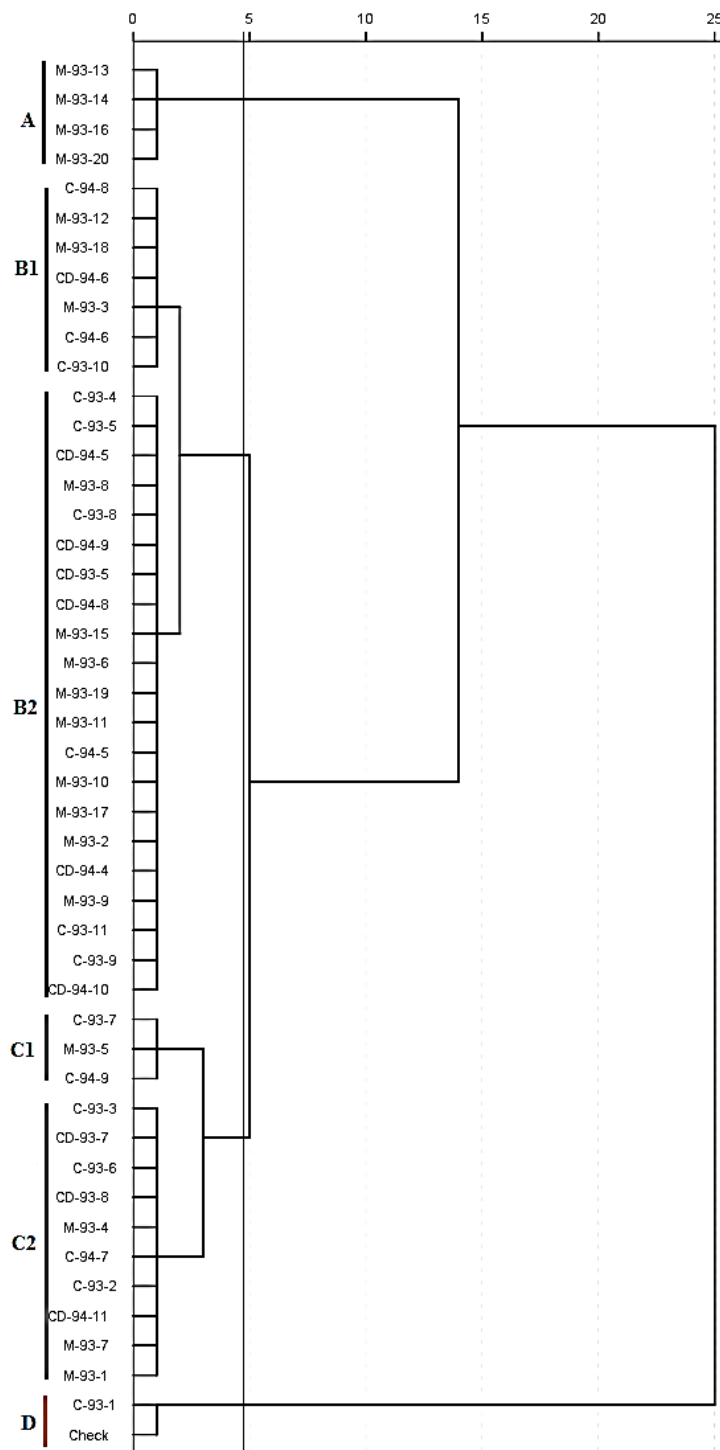
تجزیه خوشه‌ای لاین‌ها که بر اساس داده‌های واکنش مرحله گیاه بالغ انجام گرفت، چهار گروه اصلی را برای لاین‌های مورد مطالعه مشخص ساخت. شاهد حساس همراه با یک لاین با بیشترین فاصله ژنتیکی از بقیه لاین‌ها جدا شدند و در گروه جداگانه‌ای قرار گرفتند (شکل ۳ گروه D)، بقیه لاین‌ها در سه گروه اصلی A، B و C قرار گرفتند.

گروه اصلی A چهار لاین M-93-13، M-93-14، M-93-16 و M-93-20 را شامل می‌شد که به‌طور کلی به‌دلیل دارا بودن داده‌های پایین مقادیر اندازه‌گیری شده، دارای مقاومت نسبی یا تدریجی در سطح مطلوب بودند. گروه اصلی B و C نیز هر کدام به دو زیر گروه فرعی تقسیم شدند. هفت لاین که دارای مقادیر متوسط پارامترهای مقاومت تدریجی بودند در زیر گروه B1 قرار گرفتند. تعداد ۲۱ لاین دیگر هم که دارای سطح پایین مقاومت تدریجی بودند، در زیر گروه دوم (B2) قرار گرفتند. سه لاین M-93-5، C-93-7 و C-94-9 در گروه فرعی C1 قرار گرفتند که با داشتن بالاترین مقادیر پارامترهای مقاومت تدریجی بعد از گروه D، به‌عنوان گروه حساس دسته بندی شدند. ۱۰ لاین نیز در گروه فرعی C2 قرار گرفتند. تنوع بین لاین‌ها بر اساس داده‌های واکنش گیاه بالغ نسبتاً بالا بود و تجزیه خوشه‌ای بر اساس داده‌های بیماری این تنوع را تایید کرد که اشاره به وجود تنوع ژنتیکی در بین لاین‌های مورد مطالعه دارد. در مطالعه مشابهی (Hei et al. 2015) و Safavi (2017b) هم بر اساس داده‌های مختلف بیماری تنوع بالایی را بین ارقام یا لاین‌های مورد مطالعه گندم نسبت به زنگ زرد و زنگ سیاه گزارش کردند. تنوع مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی نسبت به زنگ سیاه به کار گرفته شود. این کار از کشت ارقام دارای تنوع ژنتیکی پایین در مقاومت نسبت به زنگ سیاه جلوگیری خواهد کرد.

تدریجی گروه‌بندی شدند (جدول ۲ و شکل ۳). به استثناء لاین‌های M-93-1، C-93-2، C-93-7، C-94-9، CD-94-11، M-93-1 و M-93-5 و 93-5 بقیه لاین‌ها مقادیر rAUDPC کمتر از ۷۰ درصد رقم حساس نشان دادند و به‌عنوان گروه دارای سطح متوسط مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند. هر دو گروه یک و دو شامل لاین‌هایی با درجات متفاوت مقاومت تدریجی هستند، این لاین‌ها به نظر می‌رسد که دارای مقاومت پایداری باشند (Singh et al. 2005). علاوه بر این، ارقام دارای سطح قابل قبول مقاومت تدریجی، تکامل نژادهای جدید پاتوژن را محدود می‌کنند. زیرا که جهش‌های چند نقطه‌ای در طبیعت بی نهایت نادر می‌باشند (Ali et al. 2007). بر اساس مقادیر rAUDPC، هیچ یک از ارقام بررسی شده در این مطالعه مصون نبودند.

تنوع ارقام از نظر نرخ آلودگی ظاهری

طی بررسی‌های انجام شده در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵، نرخ آلودگی ظاهری (r) تمام لاین‌های بررسی شده در این پژوهش کمتر از شاهد حساس بودند (جدول ۲). بعد از شاهد حساس، بالاترین میانگین مقدار نرخ آلودگی ($r = 0.25$) برای لاین C-93-1 ثبت گردید که بعد از آن لاین CD-93-8 با مقدار میانگین نرخ آلودگی $r = 0.22$ قرار داشت. این ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر CI و FRS در گروه حساس قرار می‌گرفتند. طبق بررسی‌های (Ali et al. 2009) و Sandoval-Islas et al. (2007) مقدار نرخ آلودگی در مقایسه با مقادیر CI، FRS، rAUDPC تخمین غیر قابل اعتمادی از مقاومت تدریجی است. در تحقیق حاضر نیز این نتیجه بدست آمد. نرخ آلودگی برخی لاین‌ها، که بر اساس پارامترهای دیگر، دارای سطح متوسط و پایین مقدار تدریجی هستند با مقادیر نرخ آلودگی ظاهری تناسب ندارند. این حالت در لاین‌هایی مانند CD-94-6 و C-93-5 به ترتیب با مقدار $r = 0.133$ و $r = 0.178$ دیده می‌شود. در این بررسی ژنوتیپ‌هایی که بر اساس پارامترهای دیگر به عنوان گروه دارای سطح مطلوب مقاومت تدریجی گروه‌بندی شدند، نرخ آلودگی کمتر از $r = 0.092$ دارند. لاین‌های دارای سطح



شکل ۳. گروه‌بندی لاین‌های امیدبخش گندم بر اساس مقادیر پارامترهای مقاومت تدریجی نسبت به زنگ سیاه با استفاده از تجزیه خوشه‌ای.

Figure 3. Classification of wheat elite lines based on slow rusting parameters against stem rust using cluster analysis.

واکنش‌ها از نیمه مقاوم تا کاملاً حساس متغیر بودند، اما به طور کلی بیشتر لاین‌های ارزیابی شده تحت شرایط آلودگی بالا واکنش

نتایج این مطالعه نشان داد که لاین‌های مورد مطالعه واکنش‌های نسبتاً متنوعی نسبت به زنگ سیاه نشان می‌دهند. اگرچه

نسبت به زنگ سیاه، بهتر است مقاومت پایدار نسبت به زنگ زرد و بیماری‌های مهم دیگر گندم نیز مد نظر قرار گیرند تا ارقام از تولید پایداری برخوردار باشند.

سپاسگزاری

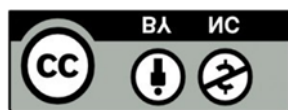
این پژوهش با حمایت مالی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، تحت پروژه‌ی شماره ۹۴۲۷۳-۰۳-۰۳-۰۳ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اجرا گردیده است. بدینوسیله از کلیه همکاران محترم موسسه و مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل که در اجرای این تحقیق ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌کنیم.

References

- Admassu B, Friedt W, Ordon F, 2012. Stem rust seedling resistance genes in Ethiopian wheat cultivars and breeding lines. *African Crop Science Journal* 20: 149–161.
- Afshari F, 2000. Studies on rust resistance in wheat with particular emphasis on stripe rust. Ph.D. thesis, University of Sydney, Australia, 252 pp.
- Afshari F, 2012. Genetics of pathogenicity of wheat stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) and reaction of wheat genotypes to the disease. *Iranian Journal of Plant Protection Science* 43: 357–365 (in Persian with English abstract).
- Ahmadi k, Ebadzade HR, Hatami F, Abdeslah H, Kazmian A, 2020. Agriculture Statistics (2018-2019). Vol. 1, Field Crops. The Center for Information and Communication Technology. 87 pp (in Persian).
- Ali S, Shah SJA, Ibrahim M, 2007. Assessment of wheat breeding lines for slow yellow rusting (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10: 3440–3444.
- Ali S, Shah SJA, Khalil IH, Rahman H, Maqbool K, et al., 2009. Partial resistance to yellow rust in introduced winter wheat germplasm at the north of Pakistan. *Australian Journal of Crop Science* 3: 37–43.
- Bamdadian A, Torabi M, 1978. Epidemiology of wheat stem rust in southern areas of Iran in 1976. *Iranian Journal of Plant Pathology* 14: 14–19 (in Persian with English abstract).
- Boyd LA, 2005. Centenary review: can Robigus defeat an old enemy? Yellow rust of wheat. *The Journal of Agricultural Sciences* 143: 233–243.
- Broers LHM, Cuesta-Subias X, Lopez-Atilano RM, 1996. Field assessment of quantitative resistance to yellow rust in ten spring bread wheat cultivars. *Euphytica* 90: 9–16.
- Brown WMJ, Hill JP, Velasco VR, 2001. Barley yellow rust in North America. *Annual Review of Phytopathology* 39: 367–384.
- Chen XM, 2005. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology* 27: 314–337.
- Chen XM, 2013. Review article: high-temperature adult-plant resistance, key for sustainable control of stripe rust. *American Journal of Plant Sciences* 4: 608–627.
- Dadrezai ST, Lababidi S, Nazari K, Mohammadi E, 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 Science* 4: 1375–1386.
- Denbel W, Badebo A, Alemu T, 2013. Evaluation of Ethiopian commercial wheat cultivars for resistance to stem rust of wheat race 'UG99'. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4: 15–24.
- Flor HH, 1956. The complementary genetic systems in flax and flax rust. *Advanced Genetics* 8: 29–54.
- Hei N, Shimelis HA, Laing M, and Admassu B, 2015. Assessment of Ethiopian wheat lines for slow rusting resistance to stem rust of wheat caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Journal of Phytopathology* 163: 353–363.
- Herrera-Foessel SA, Lagudah ES, Huerta-Espino J, Hayden MJ, Bariana HS, et al., 2011. New slow-rusting leaf rust and stripe rust resistance genes *Lr67* and *Yr46* in wheat are pleiotropic or closely linked. *Theoretical and Applied Genetics* 122: 239–49.
- Herrera-Foessel SA, Singh RP, Huerta-Espino J, Crossa J, Djurle A, et al., 2007. Evaluation of slow rusting resistance components to leaf rust in CIMMYT durum wheats. *Euphytica* 155: 361–369.

- Hovmøller MS, Sørensen CK, Walter S, Justesen AF, 2011. Diversity of *Puccinia striiformis* on Cereals and Grasses. *Annual Review of Phytopathology* 49: 197–217.
- Jin Y, Pretorius RA, Singh RP, Fetch TJ, 2008. Detection of virulence to resistance gene *Sr24* within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 92: 923–926.
- Jin Y, Szabo LJ, Rouse MN, Fetch TJ, Pretorius ZA, et al., 2009. Detection of virulence to resistance gene *Sr36* within the TTKS race lineage of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. *Plant Disease* 93: 367–370.
- Line RF, 2002. Stripe rust of wheat and barley in North America: A retrospective historical review. *Annual Review of Phytopathology* 40: 75–118.
- Milus EA, Line RF, 1986. Gene action for inheritance of durable, high-temperature, adult plant resistances to stripe rust in wheat. *Phytopathology* 76: 435–441.
- Navabi A, Singh RP, Tewari JP, Briggs KG, 2004. Inheritance of high levels of adult-plant resistance to stripe rust in five spring wheat genotypes. *Crop Science* 44: 1156–1162.
- Nazari K, Mafi M, Yahyaoui A, Singh RP, Park RF, 2009. Detection of wheat stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) race TTKSK (Ug99) in Iran. *Plant Disease* 93: 317.
- Nzuve FM, Bhavani S, Tusiime G, Njau P, Wanyera R, 2012. Evaluation of bread wheat for both seedling and adult plant resistance to stem rust. *African Journal of Plant Science* 6: 426–432.
- Omran A, Khodarahmi M, Roohparvar R, 2020. Investigation of seedling resistance of CIMMYT wheat germplasm to *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* races. *Journal of Applied Research in Plant Protection* (in Persian with English abstract) 9 (2): 75–87.
- Park RF, 2007. Stem rust of wheat in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 58: 558–566.
- Parlevliet JE, 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Annual Review of Phytopathology* 17: 203–222.
- Pathan AK, and Park RF, 2006. Evaluation of seedling and adult plant resistance to leaf rust in European wheat cultivars. *Euphytica* 149: 327–342.
- Patpour M, Hovmoller MS, Shahin AA, Newcomb M, Olivera P, et al., 2016. Emergence of Virulence to *SrTmp* in the Ug99 Race Group of Wheat Stem Rust, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, in Africa. *Plant Disease* 100 (2): 522.
- Patpour M, Nazari K, Ogonnaya F, Alavi SM, Mousavi A, 2014. Phenotypic and molecular characterization of resistance to stem rust in wheat cultivars and advanced breeding lines from Iran and Syria. *Crop Breeding Journal* 4 (1): 1–14.
- Periyannan S, Moore J, Ayliffe M, Bansal U, Wang X, et al., 2013. The gene *Sr33*, an ortholog of barley *Mla* genes, encodes resistance to wheat stem rust race Ug99. *Science* 341: 786–788.
- Peterson RF, Campbell AB, Hannah AE, 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research* 26: 496–500.
- Pretorius ZA, Singh RP, Wagoire WW, Payne TS, 2000. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Uganda. *Plant Disease* 84: 203.
- Roelfs AP, Singh RP, Saari EE, 1992. Rust diseases of wheat: Concepts and Methods of Diseases Management. Mexico, D.F. CIMMYT. 81 pp.
- Rosewarne GM, Singh RP, Huerta-Espino J, William H M, Bouchet S, et al., 2006. Leaf tip necrosis, molecular markers and beta1-proteasome subunits associated with the slow rusting resistance genes *Lr46/Yr29*. *Theoretical Applied Genetics* 112: 500–508.
- Safavi SA, 2021. Field-based assessment of partial resistance to yellow rust in some candidate wheat lines. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 9(4): 33–47 (in Persian with English abstract).
- Safavi SA, Afshari F, 2017a. First report of virulence to resistance gene *Sr25* by the stem rust pathogen (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) in Ardabil, North West of Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology* 53: 119–122.
- Safavi SA, Afshari F, 2017b. A seven-year assessment of resistance durability to yellow rust in some wheat cultivars in Ardabil province, Iran. *Journal of Crop Protection* 6: 409–421.
- Safavi SA, Malhipour A, 2018. Effective and ineffective resistance genes and reaction of promising wheat lines to stem rust in Ardabil. *Journal of Crop Protection* 7: 4015–427.
- Safavi SA, Malhipour A, 2020. Partial resistance of some wheat cultivars and candidate lines against to stem rust (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). *Plant Protection* 43: 31–53 (in Persian with English abstract).
- Saintenac C, Zhang W, Salcedo A, Rouse MN, Trick HN, et al., 2013. Identification of wheat gene *Sr35* that confers resistance to Ug99 stem rust race group. *Science* 341: 783–786.
- Sandoval-Islas JS, Broers LHM, Mora-Aguilera G, Parlevliet JE, Osada KS, et al., 2007. Quantitative resistance and its components in 16 barley cultivars to yellow rust, *Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*. *Euphytica* 153: 295–308.
- Sawhney RN, 1995. Genetics of Wheat-Rust Interaction. *Plant Breeding Review* 13: 293–343.
- Shah SJA, Muhammad M, Hussain S, 2010. Phenotypic and molecular characterization of wheat for slow rusting resistance against *Puccinia striiformis* Westend. f. sp. *tritici*. *Journal of Phytopathology* 158: 393–402.
- Singh D, Simmonds J, Park RF, Bariana HS, Snape JW, 2009. Inheritance and QTL mapping of leaf rust resistance in the

- European winter wheat cultivar "Weaver". *Euphytica* 169: 253–261.
- Singh KV, Singh GP, Singh PK, Aggarwal HR, 2017. Assessment of slow rusting resistance components to stripe rust pathogen in some exotic wheat germplasm. *Indian Phytopathology* 70: 52–57.
- Singh RP, Huerta-Espino J, Bhavani S, Herrera-Foessel SA, Singh D, *et al.*, 2011a. Race non-specific resistance to rust diseases in CIMMYT spring wheats. *Euphytica* 179: 175–186.
- Singh RP, 1992. Association between gene *Lr34* for leaf rust resistance and leaf tip necrosis in wheat. *Crop Science* 32: 874–878.
- Singh RP, Hodson DP, Huerta-Espino J, Jin Y, Bhavani S, *et al.*, 2011b. The Emergence of Ug99 races of the stem rust fungus is a threat to world wheat production. *Annual Review of Phytopathology* 49: 465–481.
- Singh RP, Hodson DP, Jin Y, Huerta-Espino J, 2006. Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. CAP review: *Perspective in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 1: 1–13.
- Singh RP, Hodson DP, Jin Y, Lagudah ES, Ayliffe MA, *et al.*, 2015. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: Continued threat to food security and prospects of genetic control. *Phytopathology* 105: 872–84.
- Singh RP, Nelson JC, Sorrells ME, 2000. Mapping *Yr28* and other genes for resistance to stripe rust in wheat. *Crop Science* 40: 1148–1155.
- Stubbs RW, Prescott JM, Saari EE, Dubin HJ, 1986. Cereal Disease Methodology Manual. CIMMYT: Mexico, DF. 46 pp.
- Van der Plank JE, 1968. Disease Resistance in Plants. New York, Academic Press. 206 pp.
- Wanyera R, Kinyua MG, Jin Y, Singh RP, 2006. The spread of stem rust caused by *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, with virulence on *Sr31* in wheat in Eastern Africa. *Plant Disease* 90: 113.
- Yu L, Barbier H, Matthew NR, Singh S, Singh RP, *et al.*, 2014. A consensus map for Ug99 stem rust resistance loci in wheat. *Theoretical of Applied Genetics* 127: 1561–1581.



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