Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 49, No 2, Sumer 2018 (161-170)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.232425.654311

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۷ (ص ۱۷۰-۱۶۱)

شناسایی واریته‌های کلزای مقاوم به تنش گرمای آخر فصل به روش گلخانهٔ پلاستیکی

ولی اله محمدی[1*]، حجت فتحی هفشجانی[2]، رضا معالی امیری[3] و هوشنگ علیزاده[4]
۱، ۳ و ٤. دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰٤/۲۰)

چکیده

بخش عمدهٔ تولید کلزای کشور در مناطق گرم و خشک جنوب و گرم و مرطوب شمال صورت می‌گیرد و همین امر اجرای برنامه‌های بهنژادی برای مقاومت به تنش گرما را ضروری می‌کند. به‌منظور شناسایی رقم‌های مقاوم و حساس به گرما نه واریتهٔ بهارهٔ کلزا شامل رقم‌های زراعی و لاین‌های امیدبخش در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو آزمایش در شرایط دمای طبیعی و تنش گرما در مزرعهٔ پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران (واقع در کرج) طی دو سال ۱۳۹۵-۱۳۹۳ ارزیابی شدند. تنش گرما با ایجاد گلخانهٔ پلاستیکی در مرحلهٔ گلدهی و نصب بخاری‌برقی اعمال شد. دمای بالای ۳۹/٤ -۲۵/۱ درجهٔ سلسیوس درون گلخانهٔ پلاستیکی، تفاوت قابل توجه آن با دمای طبیعی مزرعه و کاهش معنی‌دار عملکرد دانه رقم‌ها در این شرایط در هر دو سال آزمایش نشان داد، روش گلخانهٔ پلاستیکی می‌تواند به‌طور مؤثری برای اعمال تنش گرما به کار گرفته شود. رقم‌های رودی۲۲، دلگان و مهتاب رقم‌های به‌نسبت متحمل بودند. رقم صفی۵ با احراز رتبهٔ اول عملکرد در هر دو شرایط تنش و بدون تنش و با در نظر گرفتن شاخص‌های تحمل، متحمل‌ترین رقم و دی‌اچ۱۳ حساس‌ترین رقم به تنش گرما بودند که می‌توانند در برنامه‌ریزی توسعهٔ کشت کلزا و همین‌طور برنامه‌های بهنژادی استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: **تنش گرما، شاخص تحمل، کلزا، گلخانهٔ پلاستیکی، رقم های مقاوم.**

Screening of Rapeseed (*Brassiac napus* L.) Genotypes for Tolerance to Terminal Heat Stress by Plastic Greenhouse

Valiollah Mohammadi[1*], Hojjat Fathi Hafshejani[2] , Reza Maali-Amiri[3] and Houshang Alizadeh[4]
2, 3 and 4. Associate Professors, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
2. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
(Received: May 02, 2017 - Accepted: July 11, 2017)

ABSTRACT

The majority of rapeseed in Iran is produced in South hot-dry and North hot-humid regions making it necessary to improve heat resistant cultivars. In order to identify heat tolerant and susceptible cultivars, nine spring varieties of rapeseed including commercial cultivars and promising lines, were evaluated under normal and heat stress conditions in research field of the University of Tehran in two sets of randomized complete blocks with three replications for two years during 2015-2016. Heat stress applied by a plastic greenhouse at flowering stage equipped with electric heater. The temperature exceeding 25.1- 39.4^{0}C inside the plastic sheet, remarkably different temperature with the open field, significant yield loss of the varieties under stressed condition in both years, illustrated that plastic greenhouse could be effectively used for applying heat stress. Based on grain yield in normal and heat-stressed conditions and tolerance indices, Roodi22, Dalgan and Mahtab were semi-tolerant while Safi5 and DH13 were shown to be the most tolerant and susceptible varieties, respectively which might be considered in production and also breeding programs.

Keywords: Heat stress, Index tolerance, Plastic greenhouse, Rapeseed, Resistant cultivars.

* Corresponding author E-mail: vmohammadi@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

کلزا سومین منبع اصلی تولید و تأمین روغن‌نباتی جهان است (Yu *et al*., 2014)، که به دلیل ویژگی‌های خاص مانند سازگاری با شرایط مختلف آب‌وهوایی، ارزش تناوبی بالا، داشتن رقم‌های بهاره و پاییزه، عملکرد بالای روغن در واحد سطح، کیفیت بالای روغن، کنجالهٔ ارزشمند و دیگر برتری‌های آن کلید خودکفایی نسبی کشور در روغن-خوراکی به شمار می‌آید. تنش گرما به‌ویژه تنش آخر فصل یکی از محدودیت‌های تولید کلزا و اغلب محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. دماهای بالا به‌صورت زودگذر یا دائمی سبب تغییرپذیری‌های ریخت‌شناختی (مورفولوژیک)، ساختاری (آناتومیک)، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان و در نتیجه کاهش رشد و نمو و عملکرد می‌شوند (Porter, 2005). تفاوت زیاد عملکرد در زراعت‌های مناطق گرم در مقایسه با همان زراعت‌ها در مناطق سرد و یا به‌عبارت‌دیگر برتری عملکرد زراعت‌های زمستانه به زراعت‌های بهاره افزون بر اینکه از تأمین آب کافی در زمستان و طولانی بودن فصل رشد ناشی می‌شود به تأثیر تنش گرما در کاهش محصول زراعت‌های بهاره باز می‌گردد (Paulsen, 1994).

تنش گرما عبارت است از افزایش دما به بالاتر از حد آستانهٔ تحمل گیاه که سبب ایجاد تغییرپذیری‌های برگشت‌ناپذیر در رشد و نمو گیاه می‌شود. امروزه برآورد می‌شود که ۴۰ درصد از مجموع کل کاهش عملکرد توسط تنش‌های غیرزیستی ناشی از گرماست. حدود ۲۳ درصد از سطح کرهٔ زمین میانگین دمای بیش از ۴۰ درجهٔ سلسیوس را تجربه می‌کنند و با توجه به پیش‌بینی افزایش ۱ و ۳ درجه‌ای دما به ترتیب در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۱۰۰ به دلیل پدیدهٔ تغییر اقلیم این گستره رو به افزایش است (Ashraf & Harris, 2005). حساس‌ترین مرحلهٔ زندگی گیاه از جمله گیاه کلزا به تنش گرما مرحلهٔ رشد زایشی به‌ویژه مرحلهٔ گرده‌افشانی است که حتی در شرایط آبیاری مطلوب نیز افت عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Nuttal *et al*., 1992؛ Morrison, 1993 and Anghadi *et al*., 2000؛ Garcia del Moral *et al*., 2003؛ Yu *et al*., 2014). با افزایش دما از حالت بهینه، رشد بساک‌ها، جوانه‌زنی و رشد لولهٔ گرده با افت قابل توجهی روبه‌رو شده و در نتیجه باعث افت عملکرد خواهد شد (Endo *et al*., 2009). برای پایداری زراعت کلزا، درک ارتباط بین عملکرد محصول و تنش گرما و تأثیر دمای بالا بر ویژگی‌های زراعی کلزا به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک ضروری است (Anghadi *et al*., 2000).

به‌طورکلی کلزا یک زراعت فصل سرد به‌شمار می‌آید (Morrison, 1993؛ Brandt & McGregor, 1997). نتایج آزمایش‌ها نشان داده است، در اراضی مرطوب‌تر و دمای خنک‌تر در کانادا یک همبستگی منفی بین عملکرد دانه و دمای فصل رویش وجود دارد (Brandt & McGregor, 1997؛ Nuttal *et al*., 1992). دمای بحرانی برای آغاز آسیب تنش گرما در کلزا از ۲۵ تا ۲۷ درجهٔ سلسیوس (Morrison *et al*., 1989؛ Morrison, 1993) و۳۰ تا ۳۲ درجهٔ سلسیوس (Fan & Stefansson, 1986؛ Polowick & Sawhney, 1988) گزارش شده است. نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران نشان داده است، افزایش دما باعث افزایش میزان تنفس خورجین‌ها در کلزا و در پی آن کاهش مواد پرورده توسط خورجین‌ها در مرحلهٔ پر شدن دانه خواهد شد. تأخیر در کاشت کلزا سبب روبه‌رو شدن دورهٔ رسیدن گیاه با دمای بالای محیط می‌شود که نتیجهٔ آن کاهش ذخیرهٔ مواد نورساختی (فتوسنتزی) و کاهش وزن دانه‌ها و درنهایت کاهش عملکرد گیاه است (Whitfield, 1992). نتایج پژوهشی که توسط Morrison (1993) انجام شد نشان داد، بوته‌های کلزایی که سراسر دورهٔ رشد خود را در دمای روزانه ۲۷ و شبانه ۱۷ درجهٔ سلسیوس سپری کرده بودند تقریباً به‌طور کامل عقیم شدند. Nuttal *et al*. (1992) در نتایج بررسی‌های خود برآورد کرده‌اند، به ازای هر ۳ درجهٔ سلسیوس افزایش دما، عملکرد کلزا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد.

Young *et al*. (2004) با بررسی تأثیر تنش گرما در مرحلهٔ گلدهی بر ریخت‌شناختی و باروری کلزا نشان دادند، شمار دانه در بوته تحت تنش گرما کاهش یافته بود. همچنین در فرایند اعمال تنش میزان ریزش بذر افزایش‌یافته، ولی قوهٔ بذر، درصد جوانه‌زنی و زنده‌مانی دانه گرده کاهش یافته بود. اندام‌های زایشی ماده نیز تحت تأثیر تنش قرار گرفته بود. Singh *et al*. (2008) در نتایج بررسی تأثیر تنش دما بر توان زنده‌مانی و جوانه‌زنی دانهٔ گردهٔ ۱۲

Archive of SID

www.SID.ir

رقم زراعی کلزا نشان دادند که دماهای کمینه، بهینه و بیشینه برای درصد جوانه‌زنی و طول لولهٔ گرده به ترتیب برابر با ۶/۴، ۲۴/۳ و ۳۳/۷ درجهٔ سلسیوس است. Faraji (2008) در ارزیابی تحمل به تنش خشکی و گرما در رقم‌های کلزا نشان داد، در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، عملکرد دانه و درصد روغن هایولا۴۰۱ به‌طور قابل توجهی بیشتر از رقم آرجی‌اس۰۰۳ بود. Fani *et al.* (2010) تأثیر تنش خشکی و گرمای پایان فصل را بر ۱۶ رقم کلزا بررسی و نتیجه گرفتند، هایولا۴۰۱ بهترین عملکرد را در شرایط گرما و نیز گرما و خشکی توأمان داشت. توجه به تقویم زراعی کلزا در منطقهٔ خوزستان مشخص می‌کند که این گیاه در طول مرحلهٔ گلدهی تا پایان دورهٔ رشد با افزایش دما هوا و تنش گرما روبه‌رو است. از سوی دیگر، قطع و یا کاهش بارندگی در این دوره سبب بروز تنش خشکی نیز می‌شود (Ghobadi *et al*., 2006).

بنا بر نتایج بررسی‌های انجام‌شده دمای بالاتر از ۳۰ تا ۳۲ درجهٔ سلسیوس در زراعت کلزا دمای تنش به‌شمار می‌آید (Fan & Stefansson, 1986؛ Polowick & Sawhney, 1988). پژوهشگران به‌منظور اعمال تنش گرما در گیاهان زراعی از روش‌های متفاوتی مانند کشت تأخیری به‌منظور برخورد گیاهان با گرمای آخر فصل (Modarresi *et al*., 2010؛ Moshatati *et al*., 2012؛ Joshi *et al*., 2016) و استفاده از اتاقک‌های رشد و گلخانه به‌منظور مدیریت شرایط آزمایش (Angadi *et al*., 2000؛ Aksouh-Harradj *et al*., 2006؛ Mohammadi *et al*., 2004؛ Brunel-Muguet *et al*., 2015) استفاده می‌کنند. هرکدام از روش‌های یادشده برتری‌ها و عیب‌هایی دارند. تأخیر در کاشت متداول‌ترین روش اعمال تنش گرما در کشتزار است. در این روش مواد گیاهی در یک منطقهٔ معتدل یک‌بار در تاریخ کشت معمول منطقه (بدون تنش) و یک‌بار با تأخیر نزدیک به ۳۰ تا ۴۵ روزه (تنش گرما) کشت می‌شوند تا در شرایط اخیر با دماهای بالا در آخر بهار و اوایل تابستان برخورد کند. عیب بزرگ این روش کاشت مواد گیاهی در دو تاریخ متفاوت است که باعث می‌شود همهٔ عامل‌های مؤثر در تاریخ کشت با تأثیر دما اختلاط یابد. به‌عنوان مثال مرحله‌های مختلف رشد گیاه از جوانه‌زنی تا گلدهی و ... فنولوژی در شرایط تنش و بدون تنش به‌صورت متفاوتی رخ می‌دهند. بارندگی، دور آبیاری و دورهٔ نوری دو شرایط نیز متفاوت خواهند بود. ازآنجاکه تاریخ کاشت مناسب، عامل بسیار مهمی در بروز ظرفیت (پتانسیل) عملکرد محصولات زراعی است، اختلاط تأثیر تاریخ کاشت با دمای بالا و نبود امکان تفکیک این دو، برآورد تأثیر تنش گرما را با اشکال روبه‌رو می‌سازد. نقص دوم این شیوه این است که نمی‌توان از اعمال تنش گرما با توجه به نوسان‌های سالیانهٔ دمای محیط و تغییرهای آن مطمئن بود. از اتاقک رشد و گلخانه نیز برای اعمال تنش گرما در مقیاس کوچک استفاده می‌شود. قابلیت مدیریت دما، رطوبت و نور از برتری‌های گلخانه و اتاقک رشد است. محدودیت فضای آزمایش، احتمال طغیان آفات و بیماری‌ها و مهم‌تر از همه ناهمخوانی یافته‌ها با نتایج به‌دست‌آمده از مزرعه اشکال‌هایی است که به این روش وارد است. با توجه به مطالب یادشده یافتن یک روش ارزیابی مناسب برای تنش گرما همواره از دغدغه‌های پژوهشگران بوده است به شکلی که ضمن اعمال تنش گرما تاحدامکان دیگر عامل‌های مؤثر در رشد و تولید گیاهان در دو شرایط همسان و یا نزدیک به یکدیگر باشند. اگرچه استفاده از گلخانه‌های پلاستیکی برای پرورش گیاهان سبزی و صیفی در فصل‌های سرد بسیار متداول است. لذا در این پژوهش مؤلفان بر آن شدند تا کارایی این روش برای اعمال تنش گرما را آزمون کنند. Naveed *et al*. (2016) نیز به‌موازات این تحقیق از این روش در ذرت استفاده کرده‌اند.

وابستگی شدید کشور به واردات روغن‌نباتی، بهره‌گیری از همهٔ ظرفیت‌های اراضی زراعی کشور در تولید دانه‌های روغنی به‌ویژه کلزا را ناگزیر ساخته است. حدود ۷۰ درصد از زراعت کلزای کشور در مناطق گرم و خشک جنوب مانند استان خوزستان، ایلام و مناطق گرم و مرطوب شمال مانند استان گلستان صورت می‌گیرد که در اغلب سال‌ها در مرحلهٔ پر شدن دانه با تنش گرما روبه‌رو می‌شوند (Ahmadi *et al*., 2015). لذا تهیهٔ رقم‌های کلزای متحمل به گرما از اولویت‌های تحقیقاتی کشور است. افزون بر این، پدیدهٔ گرمایش جهانی و تغییر اقلیم ضرورت توجه به تنش گرما را دوچندان کرده است. رقم‌های بهارهٔ کلزا در استان‌های خوزستان، گلستان و دشت مغان استان اردبیل، اگرچه در پاییز کشت می‌شوند در برخی از سال‌ها به دلیل گرمای زودهنگام و در بیشتر سال‌ها در کشت‌های تأخیری به

Archive of SID

www.SID.ir

جهت محدودیت‌های ایجادشده در انجام کشت بهنگام، در زمان گلدهی و به‌ویژه پر شدن خورجین‌ها با دماهای بالا روبه‌رو می‌شوند. به‌رغم اهمیت تنش گرما تاکنون بررسی‌های بسیار اندکی در این زمینه صورت گرفته است و می‌توان گفت رقم‌های مقاوم و حساس به‌دقت شناسایی نشده‌اند. از سوی دیگر در اغلب آزمایش‌ها از کشت تأخیری برای اعمال تنش گرما استفاده می‌شود که در آن عامل‌های مختلف مانند دورهٔ نوری (فتوپریود)، فنولوژی و میزان بارندگی با تأثیر دما اختلاط می‌یابند. هدف از این آزمایش شناسایی رقم‌های کلزای مقاوم به تنش گرما با استفاده از روش ابتکاری گلخانهٔ پلاستیکی بود. پوشش پلاستیکی برای نخستین بار در این پژوهش برای اعمال تنش گرما استفاده شد. از این‌رو هدف دوم تحقیق بررسی کارایی این روش بود.

مواد و روش‌ها

نه واریتهٔ بهارهٔ کلزا شامل رقم‌های رایج در کشور، هایولا۴۰۱ و آرجی‌اس۰۰۳ و لاین‌های امیدبخش زمان، موج، مهتاب، دلگان، دی‌اچ۱۳، صفی۵ و رودی۲۲ که از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر و شرکت توسعهٔ کشت دانه‌های روغنی دریافت شده بودند، در این پژوهش استفاده شدند. هایولا۴۰۱ بیشترین سطح زیر کشت را در کشور دارد. آرجی‌اس۰۰۳ نیز دومین رقم زراعی تجاری بهاره و آزادگرده‌افشان است که در مناطقی از کشور کشت و کار می‌شود. زمان، موج، مهتاب، دلگان، دی‌اچ۱۳، صفی۵ و رودی۲۲ لاین‌های امیدبخش آزادگرده‌افشانی‌اند که در حال ارزیابی برای انتخاب و معرفی به‌عنوان رقم‌های جدید هستند. آزمایش در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار تحت دو رژیم دمایی در دو سال (۱۳۹۵-۱۳۹۳) در مزرعهٔ پژوهشی و آموزشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران (واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقهٔ شرقی با ارتفاع ۱۳۱۲/۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. شرایط آب و هوایی کرج برای زراعت کلزا در زمان‌های گلدهی و پر شدن خورجین‌ها (اواسط فروردین - اوایل خرداد) تا حدودی بدون تنش گرما به‌شمار می‌آید. در شهریورماه زمین طرح بر پایهٔ اصول خاک‌ورزی آماده و عنصرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم از منبع‌های اوره، سوپرفسفات‌تریپل و سولفات‌پتاسیم به میزان ۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه پیش از کاشت به زمین اضافه شد.

در تاریخ دهم مهرماه هر رقم در دو خط به طول ۱,۵ متر و فاصلهٔ ۲۵ سانتی‌متر کشت شد. پس از بذرکاری بی‌درنگ اقدام به آبیاری به‌صورت نشتی شد. پس از چهار روز آبیاری دوم انجام و پس از سبز شدن بوته‌ها در مرحلهٔ دو تا سه برگی، کرت‌ها برای تراکم ۸۰ بوته در مترمربع تنک شدند. دیگر عملیات از جمله آبیاری، وجین، کود سرک (اوره طی دو مرحله، ساقه رفتن و آغاز گلدهی) و هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار، سم‌پاشی علیه شته همزمان در هر دو رژیم دمایی انجام گرفت. به‌منظور اعمال تنش گرما، از روش ابتکاری گلخانهٔ پلاستیکی استفاده شد. به‌این‌ترتیب که در زمان آغاز گلدهی (۵۰ درصد ژنوتیپ‌ها) بلوک‌های تنش با پوشش پلاستیکی به طول و عرض ۸ متر و به ارتفاع ۳/۵ متر محصور شدند. برای کنترل دما از بخاری‌برقی و برای جلوگیری از افزایش رطوبت از دستگاه تهویهٔ هوا استفاده شد. جنس پلاستیک طوری انتخاب شد که شدت نور درون پلاستیک تفاوت معنی‌داری با هوای آزاد نداشته باشد. دمای هوا در هر دو آزمایش (تنش و بدون تنش) از آغاز گلدهی تا زمان رسیدن فیزیولوژیکی (اواسط فروردین تا اوایل خرداد) به‌وسیلهٔ دماسنج ثبت شد که خلاصهٔ آن در جدول ۱ آورده شده است. برای اندازه-گیری صفات، پنج بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، شمار شاخهٔ فرعی، شمار خورجین در شاخهٔ اصلی و ارتفاع پایین‌ترین شاخهٔ فرعی اندازه‌گیری شدند. طول خورجین و شمار دانه در خورجین در پنج خورجین از ساقهٔ اصلی ثبت شد. برای پرهیز از ریزش دانه-ها برداشت به‌صورت دومرحله‌ای انجام شد. به ترتیبی که با تغییر رنگ خورجین‌ها به رنگ قهوه‌ای، بوته‌های هر کرت جداگانه از سطح خاک قطع و به سالن منتقل شدند. پس از خشک شدن کامل، بوته‌ها کوبیده شدند و دانه‌ها گردآوری و عملکرد و وزن هزاردانه توزین و یادداشت شد. آزمون همگنی واریانس خطاها، تجزیهٔ واریانس مرکب آزمایش به تفکیک هر سال و تجزیهٔ مرکب دو ساله و مقایسهٔ میانگین-ها به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد. همچنین با استفاده از عملکرد هر رقم در شرایط طبیعی (Yp) و تنش (Ys) و

Archive of SID

www.SID.ir

میانگین همهٔ ژنوتیپ‌ها در شرایط طبیعی ($\bar{Y}p$) و در شرایط تنش ($\bar{Y}s$) شاخص‌های زیر محاسبه شدند.

درصد افت عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط طبیعی (که در واقع همان صورت فرمول فیشر و مورر است) نیز به عنوان یکی از نمایه های تحمل محاسبه شد.

شدت تنش	$SI = 1 - (\bar{Y}s / \bar{Y}p)$	(Fischer & Maurer, 1978)
حساسیت به تنش	$SSI = (1 - (Ys / Yp)) / SI$	(Fischer & Maurer, 1978)
تحمل تنش	$STI = (Yp \times Ys) / (\bar{Y}p)^2$	(Fernandez, 1992)
تحمل	$TOL = Yp - Ys$	(Rosielle & Hamblin, 1981)
میانگین عملکرد	$MP = (Yp + Ys) / 2$	(Rosielle & Hamblin, 1981)

جدول ۱. دامنهٔ بیشینهٔ دما از آغاز گلدهی تا زمان رسیدن فیزیولوژیکی و دامنهٔ میانگین بیشینهٔ دمای بلندمدت در محل آزمایش (درجهٔ سلسیوس)

Table 1. The range of maximum temperature (◦C) from flowering to physiological maturity and the long-term maximum temperature average in experiment location

Year	Non-Stressed	Heat-Stressed	The long term maximum temperature average in experiment location
2015	23.2-30.5	30.1-39.4	
2016	17.6-29.1	25.1-37.3	
1985-2005			17.7-29.2

نتایج و بحث

دماهای ثبت‌شده در مرحله‌های اجرای آزمایش نشان‌دهندهٔ تفاوت دما در دو شرایط تنش و بدون تنش (جدول ۱) و مؤثر بودن گلخانهٔ پلاستیکی در اعمال تنش گرما بود. به‌گونه‌ای که بیشینهٔ دما در شرایط بدون تنش در سال اول تنها به ۳۰/۵ درجهٔ سلسیوس رسید، اما در همین سال دما زیر گلخانهٔ پلاستیکی به ۳۹/۴ درجهٔ سلسیوس افزایش یافت. در سال دوم نیز، بیشینهٔ دما در شرایط بدون تنش ۲۹/۱ درجهٔ سلسیوس بود درصورتی‌که در شرایط تنش، دما تا ۳۷/۳ درجهٔ سلسیوس افزایش یافت. در سال اول دامنهٔ تفاوت بیشترین دمای ایجادشده در شرایط بدون تنش با شرایط تنش از ۶/۹ تا ۸/۹ درجهٔ سلسیوس بوده است. برای سال دوم دامنهٔ تفاوت دمای بیشینه بین دو آزمایش از ۷/۵ تا ۸/۲ درجهٔ سلسیوس بوده است (جدول ۱). همچنین معنی‌دار شدن تأثیر رژیم دما در سال اول و سال دوم و تجزیهٔ واریانس مرکب دو ساله آزمایش در سطح ۱ درصد مؤید قابلیت گلخانهٔ پلاستیکی در اعمال تنش گرما بود (جدول ۲ و ۳). کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط تنش بر پایهٔ مقایسهٔ میانگین انجام شده در هر دو سال نیز گواه این موضوع است (جدول ۴).

جدول ۲. میانگین مربعات به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس مرکب واریته‌های کلزا در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵برای عملکرد دانه

Table 2. The mean square for grain yield resulted from combined analysis of variance for rapeseed varieties in 2015 and 2016

Source of variation	df	2015	2016
Temperature regime	1	2775306.741**	3087402.667**
Replication × Temperature regime	4	15323.185	5860.648
Genotype	8	229507.991**	924568.63**
Genotype × Temperature regime	8	59281.907**	86707.25**
Error	32	13827.706	12867.44
CV(%)	-	10.75166	9.277088

** significant at 1% probability level. ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

از مزایای ایجاد گلخانهٔ پلاستیکی، نبود اختلاط تأثیر تاریخ کاشت با تأثیر تنش گرما در مقایسه با روش تأخیر در زمان کاشت در شرایط تنش و اجرای آزمایش در شرایط مزرعه در مقایسه با استفاده از اتاقک‌های رشد است. افزون بر این استفاده از بخاری‌برقی در کنار اثر گلخانه‌ای، تأمین دمای مناسب برای اعمال تنش را ممکن می‌سازد. از

Archive of SID

www.SID.ir

عیب‌های گلخانه‌های پلاستیکی امکان افزایش میزان رطوبت درون پلاستیک است که با بهره‌گیری از دستگاه-های خودکار تهویه قابل تنظیم خواهد بود. البته در مناطق پرباران باید تمهیداتی برای دریافت یکسان آب در هر دو آزمایش تنش و بدون تنش در نظر گرفته شود. نتایج آزمایش در سال اول و دوم نشان داد، تأثیر رژیم دما، ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم دما بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). همچنین با توجه به معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم دما می‌توان نتیجه‌گیری کرد نه تنها ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد متفاوت هستند، بلکه واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش گرما نیز متفاوت بوده و از نظر حساسیت و تحمل گرما یکسان نبوده‌اند. در سال اول آزمایش بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش مربوط به رگهٔ صفی۵ با ۱۲۰۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به رگهٔ رودی۲۲ با ۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط بدون تنش بیشترین میزان عملکرد دانه به رگهٔ آرجی-اس۰۰۳ با ۱۷۳۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان به رگهٔ رودی۲۲ با ۸۶۳ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۵). در سال دوم آزمایش بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش مربوط به رگهٔ رودی۲۲ با ۱۵۵۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه مربوط به رگهٔ آرجی‌اس۰۰۳ با ۵۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط بدون تنش نیز بیشترین میزان عملکرد دانه به رگهٔ رودی۲۲ با ۲۱۷۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان عملکرد دانه به رگهٔ آرجی‌اس۰۰۳ با ۶۲۴ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۵). نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب دو ساله آزمایش نشان داد، اثر سال، رژیم دما، ژنوتیپ و اثر متقابل سال در ژنوتیپ، رژیم دما در ژنوتیپ و سال در رژیم دما در ژنوتیپ در سطح ۱ درصد معنی‌دار و اثر متقابل سال در رژیم دما معنی‌دار نیستند (جدول ۳). با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ در رژیم دما به این نتیجه می‌رسیم که ژنوتیپ‌ها در رژیم‌های دما واکنش متفاوتی از خود نشان داده‌اند که بیانگر تفاوت در میزان حساسیت و تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش گرما است. مقایسهٔ میانگین مرکب دو ساله آزمایش نشان داد، در شرایط تنش بیشترین عملکرد دانه مربوط به رگهٔ صفی۵ با ۱۳۱۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به زمان با ۷۴۵ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط بدون تنش نیز بیشترین عملکرد دانه به رگهٔ صفی۵ با ۱۶۴۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه به واریته هایولا۴۰۱ با ۱۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت (جدول ۵).

جدول ۳. میانگین مربعات به‌دست‌آمده از تجزیهٔ واریانس مرکب دو ساله واریته‌های کلزا برای عملکرد دانه

Table 3. The mean square for grain yield resulted from two years combined analysis of variance for rapeseed varieties

Source of variation	df	2015-2016
Year	1	449565.037**
Temperature regime	1	5858552.926**
Year × Temperature regime	1	4156.481ns
Replication × Temperature regime × Year	8	10591.917
Genotype	8	360536.563**
Genotype ×Year	8	793540.058**
Genotype × Temperature regime	8	42705.988**
Genotype × Year × Temperature regime	8	103283.169**
Error	64	13347.57
CV(%)	-	9.974916

** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

** and ns significant at 1% probability level and non-significant respectively.

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین عملکرد دانه در واریته‌های کلزا در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و مرکب دوساله

Table 4.The mean comparison of grain yield in rapeseed varieties in 2015 and 2016 and two years combined

conditions	2015(kg/ha)	2016(kg/ha)	Combined 2015 and 2016 (kg/ha)
Non-Stressed	1320.41a	1461.85a	1391.13a
Heat-Stressed	867.00b	983.63b	925.31b

حرف‌های غیر همسان در هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

Different letters in each column show significant difference at 5% probability level.

به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرما که هدف اصلی آزمایش به‌شمار می‌آید، بر پایهٔ داده‌های

Archive of SID

www.SID.ir

به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها، شاخص‌های تحمل بر پایهٔ معادله‌های مختلف محاسبه شدند. در این آزمایش شدت تنش (IS) معادل ۰/۳۳۴۸ برآورد شد. مقایسهٔ شاخص حساسیت به تنش (SSI) ژنوتیپ‌های مورد آزمون که مقادیر کمتر آن (کمتر از یک) نشان‌دهندهٔ تحمل بالاتر است (Fischer & Maurer, 1978)، نشان داد که لاین های صفی۵ با ۰/۵۹۸۸، رودی۲۲ با ۰/۸۱۷۲ و آرجی-اس۰۰۳ با ۰/۹۰۹۱ کمترین میزان و دی‌اچ۱۳ با ۱/۴۱۳۵ و زمان با ۱/۲۲۹۱ و موج با ۱/۰۸۱۶ بیشترین میزان شاخص حساسیت به تنش را داشتند (جدول ۵). رگهٔ آرجی‌اس۰۰۳ در دسته‌بندی ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس توسط این شاخص در زمره ژنوتیپ‌های مقاوم قرار می‌گیرد، اما عملکرد این ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب رتبه‌های پنجم و هشتم را به خود اختصاص داد. به این معنا که به‌رغم داشتن شاخص حساسیت به تنش کمتر از یک، این ژنوتیپ قابلیت تولید عملکرد قابل توجه در شرایط تنش و بدون تنش را نداشته و تنها به علت نوسان پایین عملکرد این‌گونه دسته‌بندی شده است. باید توجه کرد که شاخص حساسیت به تنش مواد گیاهی را تنها بر پایهٔ میزان افت عملکرد بدون توجه به ظرفیت عملکرد آن‌ها دسته‌بندی می‌کند. یعنی ممکن است یک ژنوتیپ کم عملکرد تنها به این دلیل که در شرایط تنش افت کمی نسبت به شرایط بدون تنش داشته، در زمره ژنوتیپ‌های متحمل قرار گیرد که مطلوب بهنژادگران نیست. افزون بر این دو ژنوتیپ با عملکرد زیاد یا کم در دو شرایط می‌توانند مقدار شاخص حساسیت به تنش یکسانی داشته باشند. لذا انتخاب بر پایهٔ این شاخص ممکن است بهنژادگران را به‌اشتباه بیندازد (Naeimi, *et al.*, 2008 ؛ Naderi, *et al.*, 2000). در رابطه با شاخص تحمل تنش (STI) که مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهندهٔ تحمل بیشتر ژنوتیپ است، لاین‌های صفی۵ با ۱/۱۱۹۳ و رودی۲۲ با ۰/۸۶۷۷ بیشترین و واریته هایولا۴۰۱ با ۰/۴۵۰۱ و رگهٔ زمان با ۰/۴۸۷۳ کمترین میزان شاخص را نشان دادند (جدول ۵). شاخص تحمل تنش این برتری را دارد که می‌تواند واریته‌هایی که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند (گروه A) را از دو گروه واریته‌هایی که تنها در شرایط بدون تنش (گروه B) و یا تنها در شرایط تنش (گروه C) عملکرد بالای دارند تفکیک کند (Khalilzadeh & Sadeghzade-Ahari, 2006 ؛ karbalai- Khiavi, 2002؛ Fernandes, 1992).

مقادیر پایین عددی در شاخص تحمل (TOL) نشان‌دهندهٔ تحمل نسبی ژنوتیپ‌ها است. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر شاخص تحمل نشان داد، کمترین میزان این شاخص مربوط به لاین‌های صفی۵ با ۳۳۰ و آرجی-اس۰۰۳ با ۳۵۹ و رقم هایولا ۴۰۱ با ۳۹۲/۵ کیلوگرم در هکتار بود و بالاترین میزان آن متعلق به لاین‌های دی‌اچ۱۳ با ۷۳۴/۵، زمان با ۵۲۱ و دلگان با ۴۸۹/۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). انتخاب بر پایهٔ شاخص تحمل اغلب منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های می‌شود که در شرایط بدون تنش عملکرد پایینی دارند (Rosielle & Hamblin, 1981). به‌عنوان مثال رقم‌های آرجی‌اس۰۰۳ و هایولا۴۰۱ به‌رغم اینکه بر پایهٔ شاخص تحمل در گروه ژنوتیپ‌های مقاوم قرار گرفتند، از نظر عملکرد در شرایط بدون تنش آخرین رتبه‌ها را داشتند. Naeimi, *et al.* (2008) نیز بر این باورند، این شاخص برای گزینش رقم‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی داشته باشند موفق نیست. پایین بودن شاخص تحمل به‌حتم به معنای بالا بودن عملکرد ژنوتیپ در محیط بدون تنش نیست، چراکه ممکن است عملکرد ژنوتیپی در شرایط عادی پایین و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشد که باعث کوچک شدن شاخص تحمل خواهد شد (Moghaddam & Hadizade, 2002). صرف‌نظر از صفی۵ که در صدر رتبه‌بندی این شاخص قرار گرفت، رقم‌های آرجی‌اس۰۰۳ و هایولا۴۰۱ به‌رغم دریافت رتبه‌های دوم و سوم با در نظر گرفتن دیگر شاخص‌ها و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و توضیح‌های بالا در گروه ژنوتیپ‌های مقاوم قرار نمی‌گیرند.

اعداد بزرگ‌تر شاخص میانگین عملکرد (MP) نشان‌دهندهٔ متحمل بودن ژنوتیپ به تنش است. بیشترین میزان این شاخص متعلق به لاین‌های صفی۵ و رودی۲۲ به ترتیب با ۱۴۸۱ و ۱۳۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان این شاخص مربوط به واریته‌های هایولا۴۰۱ (۹۵۳/۷۵) و آرجی‌اس۰۰۳ (۱۰۰۰) کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). بر پایهٔ نتایج دیگر تحقیقات انجام‌شده شاخص میانگین عملکرد قادر به تشخیص و جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A از گروه C نیست (Sanjeri, ؛ Shiranirad, 2010

Archive of SID

www.SID.ir

2003). که نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش نیز با تحقیقات بالا همخوانی دارد.

درصد افت عملکرد، میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش را نسبت به شرایط طبیعی نشان می‌دهد. کمترین میزان این شاخص با ۲۰، ۲۷ و ۳۰ درصد به ترتیب به صفی۵، رودی۲۲ و آرجی‌اس۰۰۳ و بیشترین میزان آن با ۴۷، ۴۱ و ۳۶ درصد به دی‌اچ۱۳، زمان و موج اختصاص داشت. بر اساس رتبه بندی این شاخص آرجی‌اس۰۰۳ در زمره ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرما قرار می‌گیرد، اما دقت نظر در میزان عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش نشان می‌دهد میزان عملکرد دانه این ژنوتیپ همانگونه که قبلا توضیح داده شد رتبه مناسبی را اخذ نمی‌کند (جدول ۵). این شاخص نیز معایب شاخص حساسیت به تنش را داراست.

جدول ۵. میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تحمل تنش در واریته‌های بهارهٔ کلزا در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و میانگین دو سال

Table 5. The average of grain yield under stressed and non-stressed conditions and tolerance indices in spring rapeseed varieties in 2015, 2016 and average of two years

Yied loss%	SSI	STI	TOL	MP	2015&2016		2016		2015		Variety
					$\overline{Ys}$	$\overline{Yp}$	Ys (kg/ha)	Yp (kg/ha)	Ys (kg/ha)	Yp (kg/ha)	
20	0.5988	1.1193	330.00	1481.00	1316^{a}	1646^{a}	1430^{a}	1909^{b}	1202^{a}	1383^{b}	Safi5
30	0.9091	0.5001	359.00	1000.00	821^{d}	1180^{b}	580^{e}	624^{f}	1061^{a}	1735^{a}	RGS003
33	0.9966	0.7409	489.50	1222.25	978^{c}	1467^{a}	1059^{b}	1730^{b}	896^{b}	1204^{b}	Dalgan
33	0.9949	0.7411	488.50	1222.25	978^{c}	1467^{a}	854^{cd}	1481^{c}	1102^{a}	1452^{b}	Mahtab
34	1.0194	0.4501	392.50	953.75	758^{d}	1150^{b}	817^{cd}	978^{e}	698^{c}	1322^{b}	Hayola401
27	0.8172	0.8677	416.00	1312.50	1105^{b}	1521^{a}	1550^{a}	2178^{a}	659^{c}	863^{c}	Roodi22
36	1.0816	0.5341	461.00	1042.50	812^{d}	1273^{b}	911^{bc}	1313^{dc}	713^{c}	1233^{b}	Moj
41	1.2291	0.4873	521.00	1005.50	745^{d}	1266^{b}	694^{ed}	1217^{d}	796^{bc}	1315^{b}	Zaman
47	1.4135	0.6556	734.50	1184.75	818^{d}	1552^{a}	959^{bc}	1728^{b}	676^{c}	1376^{b}	DH13

Yp ,Ys ,$\overline{Yp}$,$\overline{Ys}$ به ترتیب میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش هر واریته و میانگین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش واریته‌ها در دو سال آزمایش.

حرف‌های غیر همسان در هر ستون نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد.

Yp, Ys, $\overline{Yp}$, $\overline{Ys}$ are grain yield under the non-stressed and stressed conditions for each genotype and the average grain yield under the non-stressed and stressed conditions for two years.

Different letters in each column show significant difference at 5% probability level.

نتیجه‌گیری کلی

در ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های گیاهان زراعی، به تنش گرما، یکی از چالش‌ها چگونگی اعمال تنش گرما است. اتاقک‌های رشد با امکان تنظیم‌های مختلف به‌صورت خودکار اگرچه گزینهٔ مناسبی برای اعمال تنش گرما هستند، ولی با مشکل هماهنگ نبودن نتایج با شرایط مزرعه روبه‌رو هستند. کشت تأخیری در مزرعه نیز که بسیار متداول است با اختلاط تاریخ کشت با اثرگذاری دما همراه است. در این آزمایش به‌منظور غلبه بر این عیب‌ها برای نخستین بار از گلخانهٔ پلاستیکی برای اعمال تنش گرما استفاده شد که دمای بالای ۳۹/۴ –۲۵/۱ درجهٔ سلسیوس درون گلخانهٔ پلاستیکی، تفاوت قابل توجه آن با دمای طبیعی مزرعه و کاهش معنی‌دار عملکرد دانهٔ واریته‌ها در این شرایط در هر دو سال آزمایش، گویای کارایی این روش در ارزیابی مواد گیاهی برای مقاومت به گرما بود. بر پایهٔ عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های مختلف صفی۵ به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ و دی‌اچ۱۳ به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ انتخاب شدند. ازآنجاکه رگهٔ صفی۵ بالاترین عملکرد دانه را در شرایط طبیعی و تنش داشت و در همهٔ شاخص‌های تحمل رتبهٔ نخست را کسب کرد، به‌عنوان

Archive of SID

www.SID.ir

متحمل‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. رگهٔ دی‌اچ۱۳ در شرایط تنش در بین نه واریته و لاین رتبهٔ ششم را داشت و از لحاظ شاخص‌های حساسیت به تنش، تحمل و درصد افت رتبهٔ آخر را داشت و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ شناخته شد (جدول ۵). با توجه به زودرس‌تر بودن رگهٔ صفی۵ نسبت به واریته دی‌اچ۱۳ می‌توان یکی از دلایل تحمل و حساسیت این دو ژنوتیپ را به سازوکار فرار از تنش نسبت داد. زیرا در زمان اعمال تنش گرما آغاز گلدهی در ۵۰ درصد از ژنوتیپ‌ها ملاک عمل قرار گرفت که در این هنگام رگهٔ صفی۵ در مرحله‌های پیشرفته‌تری از گلدهی قرار داشته، اما واریته دی‌اچ۱۳ در آغاز گلدهی بوده است. رگهٔ صفی۵ در آزمایش‌های عملکرد در مرکز تحقیقات صفی‌آباد دزفول در شرایط گرم و خشک خوزستان نیز عملکرد خوبی داشته و در مرحلهٔ ارزیابی و انتخاب و معرفی به عنوان واریته جدید است. لاین‌ها و واریته‌های شناسایی‌شده در این پژوهش می‌توانند افزون بر بررسی‌های ژنتیکی در برنامه‌های بهنژادی و همین‌طور برنامه‌ریزی کشوری زراعت کلزا استفاده شوند.

سپاسگزاری

از مسئولان، پژوهشگران و کارشناسان بخش تحقیقات دانه‌های روغنی مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر کرج و شرکت توسعهٔ کشت دانه‌های روغنی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن بذر واریته‌های کلزا قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Ahmadi, k., Gholizade, H., Ebadzade, H., Hossein-poor, R., Hatami, F., Fazli, B., Kazemian, A. & Rafie, M. (2015). *Agricultural statistics*. Ministry of Agriculture. (In Farsi)
2. Aksouh-Harradj, N. M., Campbell, L. C. & Mailer, R. J. (2006). Canola response to high and moderately high temperature stresses during seed maturation. *Canadian journal of plant science*, 86(4), 967-980.
3. Anghadi, S. V., Cutforth, H.W., Miller, P. R., McConkey, B. G., Entz, M. H., Brandt, S. A. & Olkmar, K. M. (2000). Response of three Brassica species to high temperature stress during reproductive growth. *Canadian Journal of Plant Science*, 80, 693-701.
4. Ashraf, M. A. & Harris, P. J. (2005). *Abiotic stresses*: *plant resistance through breeding and molecular approaches*. Food Products Press.
5. Brandt, S. A. & McGregor, D. I. (1997). Canola response to growing season climatic conditions. In: Proceedings of *Soils and Crops Workshop*, 20–21 February. Extension Div., University of Saskatchewan, Saskatoon, pp. 322-328.
6. Brunel-Muguet, S., D'Hooghe, P., Bataillé, M. P., Larré, C., Kim, T. H., Trouverie, J. & Dürr, C. (2015). Heat stress during seed filling interferes with sulfur restriction on grain composition and seed germination in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Frontiers in plant science*, 6, 1-12.
7. Endo, M., Tsuchiya, T., Hamada, K., Kawamura, S., Yano, K., Ohshima, M. & Kawagishi-Kobayashi, M. (2009). High temperatures cause male sterility in rice plants with transcriptional alterations during pollen development. *Plant and Cell Physiology*, 50(11), 1911-1922.
8. Fan, Z., & Stefansson, B. R. (1986). Influence of temperature on sterility of two cytoplasmic male-sterility systems in rape (*Brassica napus* L.). *Canadian journal of plant science*, 66(2), 221-227.
9. Fani E., Nabipour M., & Danaei A. (2010). Study the effects of heat and drought at the end of the season on yield and yield components of 16 canola cultivars. *Journal of Plant Production*, 17(3), 67-79. (In Farsi)
10. Faraji, A. (2008). Evaluation of heat and drought tolerance in two rapeseed cultivars. *Plant and Seed Journal*, 25(2), 169-181. (In Farsi)
11. Fernandes, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceeding of *The international symposium on adaptation of vegetables and other food crop in temperature and water stress*. Taiwan, 245-270.
12. Fischer, R. A. & Maurer, R. (1978). *Drought resistance in spring wheat cultivars*. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
13. Garcia del Moral, L. F., Rharrabti, Y., Villegas, D. & Royo, C.(2003) Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: An ontogenic approach. *Agronomy Journal*, 95, 266-274.
14. Ghobadi, M., Bakhshandeh, A. A., Fathi, G. E., Gharineh, M. H., Alami Saeid. K., & Naderi, A. (2006). Effects of sowing date and heat stress during flowering on yield and yield components in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(1), 46-57. (In Farsi)
15. Ghodrati, Gh. (2010). Grain yield of spring rapeseed line. Seed and Plant Improvement Institute. Research report. (In Farsi)

Archive of SID

www.SID.ir

16. Joshi, M. A., Faridullah, S. & Kumar, A. (2016). Effect of heat stress on crop phenology, yield and seed quality attributes of wheat. *Journal of Agrometeorology*, 18(2), 206-215.
17. Khalilzadeh, G. H., & Karbalai-Khiavi, H. (2002). Investigation of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. In: Proceeding of *The 7th Iranian congress of crop sciences*. Gilan, Iran, pp. 563-564. (In Farsi)
18. Mahan, J. R., McMicheal, B. L. & Wanjura, D. F. (1995). Methods for reducing the adverse effects of temperature stress on plants: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 35, 251–258.
19. Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A. & Mardi, M. (2010). Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. *Cereal Research Communications*, 38(1), 23-31.
20. Moghaddam, A., & Hadizade, M. H. (2002). Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Plant and Seed Journal*. 18 (3), 255-272. (In Farsi)
21. Mohammadi, V., Ghannadha, M. R., Zali, A. A. & Yazdi-Samadi, B. (2004). Effect of post anthesis heat stress on head traits of wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6(1), 42-44.
22. Morrison, M. J. (1993). Heat stress during reproduction in summer rape. *Canadian Journal of Botany*, 71(2), 303-308.
23. Morrison, M. J., McVetty, P. B. E. & Shaykewich, C. F. (1989). The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. *Canadian Journal of Plant Science*, 69(2), 455-464.
24. Moshatati, A., Siadat, S. A., Alami Saeid, K., Bakhshandeh, A. M. & Jalal Kamali, M. R. (2012). Effect of terminal heat stress on yield and yield components of spring bread wheat cultivars in Ahwaz, Iran. *International Journal of Agriculture*, 2 (6), 844-849.
25. Naderi, A., Majidi-Hervan, E., Hashemi-Dezfoli, A., Rezaei, A. & Nour mohammadi, G. (2000). Efficiency analysis of indices for tolerance to environmental stresses in field crops and introduction of a new index. *Plant and Seed Journal*. 15 (4), 390-402. (In Farsi)
26. Naeimi, M., Akbari, Gh., Shiranirad, A. H., Modares Sanavi, S. E. M., Sadat Nori, S. A. & Jabari, H. (2008). Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation in terminal growth duration. *Crop Production*, 1(3), 83-98. (In Farsi)
27. Naveed, M., Ahsan, M., Akram, H. M., Aslam, M., & Ahmed, N. (2016). Genetic effects conferring heat tolerance in a cross of tolerant × susceptible maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1-12.
28. Nuttall, W. F., Moulin, A. P., & Townley-Smith, L. J. (1992). Yield response of canola to nitrogen, phosphorus, precipitation, and temperature. *Agronomy journal*, 84(5), 765-768.
29. Paulsen, G. M. (1994). High temperature responses of crop plants. In: K. J. Boote, J. M. Bennett, T. R. Sinclair, & G. M. Paulsen (Ed), *Physiology and determination of crop yield*. (pp. 365–389.). American Society of Agronomy, Madison, WI.
30. Polowick, P. L. & Sawhney, V. K. (1988). High temperature induced male and female sterility in canola (*Brassica napus* L.). *Annals of Botany*, 62(1), 83-86.
31. Porter, J. R. (2005). Rising temperatures are likely to reduce crop yields. *Nature*, 436(7048), 174-174.
32. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21(6), 943-946.
33. Sadeghzade Ahari, D. (2006). Evaluation for tolerance to drought stress in dry land promising durum wheat genotypes. *Iranian Journal Crop Science*, 8 (1), 30-45. (In Farsi)
34. Sanjeri, A. (2003). Evaluation of tolerance resources to drought and yield stability of varieties and wheat lines in semi-dry parts of Iran. M.Sc. Thesis. Ardabil University. (In Farsi)
35. Shiranirad, A. H. (2010). The result of research breeding on Canola. Seed and Plant Improvement Institute. Research report. (In Farsi)
36. Singh, S. K., Kakani, V. G., Brand, D., Baldwin, B. & Reddy, K. R. (2008). Assessment of cold and heat tolerance of winter-grown canola (*Brassica napus* L.) cultivars by pollen-based parameters. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(3), 225-236.
37. Whitfield, D. M. (1992). Effect of temperature and aging on CO2 exchange of pods of oilseed rape. *Field Crops Research*, 28(4), 271-280.
38. Young, L., Wilen, R. & Bonham-smith, P. (2004). High temperature stress of *Brassica napus* during flowering reduces micro-and megagametophyte fertility, induces fruit abortion, and disrupts seed production. *Journal Experimental Botany*, 55, 485-495.
39. Yu, E., Fan, C., Yang, Q., Li, X., Wan, B., Dong, Y., Wang, X. & Zhou, Y. (2014). Identification of heat responsive genes in *Brassica napus* siliques at the seed-filling stage through transcriptional profiling. *PLOS ONE*, 9(7), 1-18.

Archive of SID

www.SID.ir