نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 15، شماره 4، زمستان 1396، ص. 924-914

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 4, Winter. 2018, p. 914-924

تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.)

رضا خانی[1]- امیر رضا صادقی بختوری[2]- بهمن پاسبان اسلام[3]- وحید سرابی[2*]

تاریخ دریافت: 1395/06/02
تاریخ پذیرش: 1395/11/18

چکیده

به‌منظور ارزیابی پاسخ عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف کلزای پاییزه نسبت به تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی در سال زراعی 93-1392 انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح: بدون تنش، قطع آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی به‌عنوان عامل اصلی و 18 ژنوتیپ مختلف کلزای پاییزه به‌ترتیب شامل HW113، RS12، Karaj1، KR18، L73، L72، HW101، L146، L210، L183، SW101، L5، L201، HW118، KR4، Karaj2، Karaj3 و KS7 به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که تنش در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی بر عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تأثیر زیادی داشته و مقادیر آنها را به شدّت کاهش داد. در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های L72، L146، L183، L210 و Karaj2 توانستند عملکرد بالایی را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تولید کنند. درحالی‌که، عملکرد این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش رطوبتی به شدّت کاهش یافت. در مقابل، ژنوتیپ‌های KR18، HW101، SW101 و Karaj3 نسبت به شرایط بدون تنش افت عملکرد کمتری داشتند که می‌توان آنها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم و متحمّل به تنش خشکی در نظر گرفت. از این‌رو، چنین ژنوتیپ‌هایی می‌توانند برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مناسب باشند.

واژه‌های کلیدی: افت عملکرد، خورجین‌دهی، گلدهی، گیاهان روغنی، مراحل فنولوژیکی

مقدمه

کلزا[4] به‌دلیل دارا بودن صفات مثبت زراعی نظیر تحمّل به سرما و کم‌آبی، ارزش تناوبی بالا، دامنه‌ی گسترده سازگاری نسبت به بافت خاک، امکان کنترل علف‌های هرز باریک‌برگ، دارا بودن ژنوتیپ‌های بهاره و پاییزه، استفاده کارا از رطوبت خاک، هزینه کم تولید و درنهایت عملکرد بیشتر روغن در واحد سطح نسبت به سایر دانه‌های روغنی مورد کشت، برتری داشته و می‌تواند جهت کاشت در بیشتر استان‌های کشور پیشنهاد گردد (Aliari *et al.*, 2000). تنش‌های محیطی اعم از زنده و غیرزنده همواره از عوامل اصلی کاهش تولید محصولات زراعی و از موانع اصلی رسیدن به پتانسیل عملکرد محصولات مختلف بوده‌اند (Chaghakaboodi *et al.*, 2012). تنش خشکی مهمترین عامل محدودکننده‌ی تولید محصولات در سیستم‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید (Debaeke and Aboudrare, 2004). در ایران نیز در بین تنش‌های غیرزنده، خشکی بزرگترین مانع رشد و تولید کلزا به‌شمار می‌رود (Moradshahi *et al.*, 2004). کمبود آب در کلزا همراه با کاهش پتانسیل آب برگ باعث کاهش تورّم سلولی، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز گردیده و درنهایت به رشد و تولید محصول صدمه می‌زند (Kumar and Singh, 1998). زمان بروز تنش خشکی و شدّت آن بر بسیاری از صفات کلزا نظیر ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، اجزای عملکرد نظیر تعداد و طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن دانه‌ها اثر گذاشته و موجب کاهش عملکرد نهایی دانه می‌گردد (Sheykh *et al.*, 2005). حسّاس‌ترین زمان برای آبیاری در کلزا مراحل گلدهی و اوایل خورجین‌دهی (که طی آن تعداد دانه در بوته مشخّص می‌گردد) می‌باشند و کمبود آب در این مراحل موجب کاهش

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
2- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
3- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: Sarabi20@azaruniv.edu
DOI: 10.22067/gsc.v15i4.58356
4- *Brassica napus* L.

تعداد خورجین، دانه‌بندی و نیز کوچک ماندن دانه‌ها و درنهایت کاهش عملکرد دانه و روغن می‌گردد (Sinaki *et al.*, 2007). همزمانی مرحله‌ی رشد زایشی در گیاه با تنش خشکی، موجب کاهش اکثر صفات وابسته به عملکرد در کلزا نظیر تعداد خورجین در بوته، وزن هزاردانه و تعداد دانه در خورجین می‌گردد که کاهش عملکرد دانه عمدتاً ازطریق کاهش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین می‌باشد (Ma *et al.*, 2006). هنگامی که بوته‌های کلزا در مرحله‌ی رشد خورجین با تنش خشکی مواجه گردند، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد (Pasban Eslam, 2009). دیواره‌ی خورجین در حال رشد کلزا، برای جذب مواد فتوسنتزی با دانه‌های درحال توسعه به شدت رقابت می‌کند. به هنگام افزایش تنش‌های محیطی این رقابت شدّت یافته و این امر باعث کاهش عملکرد دانه یا ریزش خورجین‌ها می‌گردد (Wright *et al.*, 1996). از سوی دیگر، تنش خشکی موجب می‌شود که طول دوره‌ی پرشدن دانه در کلزا به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و عملکرد دانه به شدّت تحت الشّعاع قرار گیرد (Faraji *et al.*, 2009).

امروزه، نگهداری سیستم‌های زراعی با مشکلی جدّی به نام کمبود منابع آبی، گرم شدن آب و هوا و استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی مواجه شده است (Xiao *et al.*, 2005) که لزوم توجه به رفع مشکل کمبود آب در سال‌های آینده را بیش از پیش نمایان می‌سازد. یکی از راه‌های مقابله با مشکل کم‌آبی، گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی است (Koocheki *et al.*, 2006). با توجه به توسعه‌ی سطح زیر کشت کلزا در ایران ضروری است که با مشخّص شدن پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف نسبت به تنش کمبود آب به‌خصوص در مراحل حسّاس فنولوژیکی، نسبت به گزینش ارقام متحمّل به خشکی اقدام نمود (Sheykh *et al.*, 2005). برای اصلاح گیاهان مقاوم به تنش خشکی، برخی از محقّقین بر گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط مطلوب (Betran *et al.*, 2003; Rajaram and van Ginkle, 2001) و برخی دیگر نیز بر گزینش آنها در شرایط تنش تأکید دارند (Ceccarelli and Grando, 1991; Rathjen, 1994)، ولی اکثر محقّقین بر این باورند که برای گزینش ژنوتیپ‌ها بهتر است آنها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش قرار گیرند (Pourdad *et al.*, 2008). پتانسیل عملکرد در شرایط تنش، بهترین معیار مقاومت به خشکی محسوب نشده و پایداری عملکرد در شرایط تنش و بدون آن معیار مناسب‌تری برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش رطوبتی است (Simane *et al.*, 1993). در این خصوص، شاخص‌های زیادی توسط محقّقین ارائه شده است. به‌عنوان مثال، در شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992)، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالای این شاخص، در هر دو شرایط تنش و بدون آن عملکرد بالایی تولید می‌کنند. برخی از محقّقین نیز ویژگی‌های فیزیولوژیک نظیر محتوای نسبی آب برگ (Khan *et al.*, 2010)، دمای تاج پوشه‌ی برگ و مساحت خورجین را برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های کلزا در تحمّل به خشکی پیشنهاد کرده‌اند (Singh *et al.*, 1985). دمای تاج پوشه‌ی برگ شاخص مناسبی برای ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های کلزا در تحمّل به خشکی می‌باشد (Pasban Eslam, 2009). گیاهان تحت تنش ازطریق تنظیم روزنه‌ای از اتلاف زیاد آب جلوگیری می‌کنند که همین مسئله باعث افزایش دمای تاج پوشه‌ی گیاهی در آنها می‌شود (Cornic, 2000). با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار خنک شدن تعرّقی با تنظیم اسمزی و هدایت روزنه‌ای، سادگی و سرعت اندازه‌گیری دمای برگ نسبت به شاخص‌های مزبور می‌توان با اندازه‌گیری دمای تاج پوشه‌ی گیاهی در مراحل حسّاس رشدی در کلزای تحت تنش کم‌آبی نسبت به شناسایی و گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در کلزا برای مناطقی که با محدودیت آبی مواجه‌اند، اقدام نمود (Kumar and Singh, 1998). از این‌رو، با توجه به نیاز روزافزون کشور در تولید دانه‌های روغنی، پژوهشی با هدف مطالعه‌ی اثرات تنش خشکی در مراحل حسّاس رشدی (گلدهی و خورجین‌دهی) بر عملکرد دانه و اجزای آن در کلزای پاییزه و گزینش ارقام متحمّل به تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی پاسخ عملکرد و اجزای آن در ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در شرایط عادّی و کمبود آب، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار در مزرعه‌ی تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی واقع در کیلومتر 15 جاده‌ی تبریز- آذرشهر با طول جغرافیایی 46 درجه و 2 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 37 درجه و 58 درجه شمالی در سال زراعی 93-1392 انجام شد. مشخّصات دمایی و میزان بارندگی محل اجرای آزمایش در فواصل زمانی شهریور 1392 تا تیرماه 1393 در جدول 1 آمده است. ناحیه‌ی مورد نظر دارای زمستان‌های سرد، یخبندان و تابستان‌های گرم و خشک است. این منطقه دارای متوسط دمای سالیانه 12/7 درجه سانتی‌گراد با 160/7 میلی‌متر بارندگی در سال می‌باشد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح: بدون تنش، قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی و قطع آن در مرحله‌ی خورجین‌دهی به‌عنوان عامل اصلی و 18 ژنوتیپ مختلف کلزای پاییزه به‌عنوان عامل فرعی بودند. ژنوتیپ‌های کلزا به‌ترتیب شامل: HW113، RS12، Karaj1، KR18، L73، L72، HW101، L146، L210، L183، SW101، L5، L201، HW118، KR4، Karaj2، Karaj3 و KS7 از بخش تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی تهیه شدند. قطعه زمین مورد نظر در سال قبل تحت آیش بود و در اواسط شهریورماه سال 92، عملیات

آماده‌سازی شامل شخم، دیسک‌زنی و تسطیح در آن انجام شد. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش قبل از آماده‌سازی زمین، از عمق صفر تا 90 سانتی‌متری نمونه خاک تهیه شد. نمونه خاک تهیه شده به آزمایشگاه آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی منتقل گردید و عملیات تجزیه و تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن انجام گرفت. براساس نتایج آزمون خاک، به‌ترتیب 150، 60 و 100 کیلوگرم در هکتار نیتروژن، فسفر و پتاسیم به خاک افزوده شده و توسط شیارساز با خاک مخلوط گردید. یک سوم از کود نیتروژن در ابتدای کاشت و مابقی آن در مرحله‌ی طویل شدن ساقه و تشکیل جوانه‌های گل به‌کار رفت. کاشت به‌صورت هیرم‌کاری و به روش دستی در دو طرف پشته‌ها در عمق دو سانتی‌متری خاک انجام گرفت. هر کرت از چهار ردیف با فاصله‌ی 30 سانتی‌متر و به طول سه متر تشکیل شده بود. فاصله‌ی بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت هفت سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بوته‌های کلزا قبل از فرا رسیدن زمستان در مرحله‌ی روزت قرار داشتند و در اواخر فروردین‌ماه سال 93 با رشد مجدد آنها، عملیات وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی و شیمیایی انجام شد، به‌طوری‌که برای کنترل علف‌های هرز موجود از علف‌کش هالوکسی‌فوپ آر-متیل استر (سوپرگالانت) استفاده شد.

جدول 1- میانگین دمای حداقل، حداکثر، کل و مجموع بارندگی از شهریور سال 92 تا تیرماه سال 93 در منطقه‌ی کاشت کلزا

Table 1- Low, high, total monthly temperature and total monthly rainfall from September 2013 to July 2014 in canola (*Brassica napus* L.) planting area

سال Year	ماه‌های سال Months	میانگین دمای حداقل High monthly temp. (°C)	میانگین دمای حداکثر High monthly temp. (°C)	میانگین دمای کل Total monthly temp. (°C)	مجموع بارندگی Total monthly rainfall (mm)
2013	September	14.7	30.9	22.8	1.9
2013	October	6.6	22.5	14.6	3.8
2013	November	3.2	14.6	8.9	42.4
2013	December	-5.3	4.6	-0.3	37.3
2014	January	-10.5	-2.8	-6.7	0.3
2014	February	-4.2	5.7	0.7	12.8
2014	March	1.1	13.5	7.3	34.3
2014	April	3.7	15.9	9.8	22.7
2014	May	10.4	24.4	17.4	26
2014	June	13.8	29	21.4	13.1
2014	July	18.5	33.8	26.2	1.6

برای تخمین رطوبت قابل استفاده موجود در خاک و اعمال تنش خشکی از روش وزنی استفاده شد، به‌طوری‌که با نزدیک شدن به مراحل حساس رشدی (گلدهی و خورجین‌دهی) با تعیین رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی در عمق صفر تا 90 سانتی‌متری (عمق توزیع ریشه‌های گیاه)، میزان آب قابل استفاده خاک کنترل شد. در تیمار بدون تنش زمانی اقدام به آبیاری شد که 50 درصد آب خاک از حد ظرفیت زراعی تخلیه شده بود، درحالی‌که در تیمارهای تحت تنش زمانی اقدام به آبیاری شد که 70 درصد آب خاک از حد ظرفیت زراعی کاهش یافته بود. آمار مربوط به محتوای آب خاک در منطقه‌ی کاشت کلزا در جدول 2 آمده است. در دوره‌ی اعمال تنش بارندگی مؤثری رخ نداد، ولی برای مهار بارندگی‌های احتمالی، روی کرت‌های تحت تنش پوشش پلاستیکی پیش‌بینی شده بود. برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌های آبیاری و تنش، دو متر بین کرت‌ها و سه متر بین بلوک‌ها فاصله در نظر گرفته شد. هر بار پس از اعمال تنش، دمای برگ برای تمامی تیمارها با استفاده از دماسنج مادون قرمز مجهز به پرتو لیزری اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری دمای برگ پایین‌ترین برگ‌های اشکوب بالایی انتخاب شدند، به‌طوری‌که تمامی بوته‌ها در شرایط یکسانی از لحاظ نور تابیده شده قرار داشتند. دماسنج به فاصله‌ی حدود نیم متری از سطح برگ مورد نظر با زاویه 45 درجه به سوی آن نشانه‌گیری شد. در مرحله‌ی رسیدگی فیزیولوژیک، تمام مساحت کرت‌ها با حذف اثرات حاشیه (حذف دو ردیف کناری و نیم متر از دو انتهای هر کرت) به روش دستی برداشت شد و صفاتی نظیر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین برای تمامی تیمارها شمارش شد. بدین منظور 10 بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب شده و میانگین آنها برای هر تیمار ثبت شد. بوته‌های مربوط به هر کرت به مدت چهار روز در فضای آزاد خشک شده و سپس دانه‌های موجود در خورجین جدا شدند. بوته‌ها همراه با دانه‌های مربوط به هر کرت به مدت 72 ساعت در داخل آون با دمای ثابت 70 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. درنهایت، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و بیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف کلزا با توزین دانه‌ها و کل بوته‌های مربوط به هر کرت محاسبه شد. درمجموع، برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل، از نرم‌افزارهای آماری Minitab نسخه‌ی 17 و SAS نسخه‌ی 9.2 استفاده شد و مقایسه میانگین بین تیمارها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

جدول 2- خصوصیات مربوط به محتوای آب در عمق‌های مختلف خاک طی دو سال زراعی در منطقه کاشت کلزا

Table 2- Characteristics of soil water content in different depth of canola planting area for two consecutive years

سال زراعی Year	عمق خاک Soil depth (cm)	آب ظرفیت مزرعه‌ای Field capacity (wt. %)	آب نقطه پژمردگی دایم Permanent wilting point (wt. %)	آب قابل استفاده Available water (wt. %)
2010-2011	0-30	27.3	13.7	13.6
	30-60	21.3	10.6	10.7
	60-90	14.8	7.4	7.4
2012-2013	0-30	25	13.7	11.3
	30-60	29	14.3	14.7
	60-90	28.7	14	14.7

نتایج و بحث

دمای تاج‌پوشه‌ی برگ

نتایج نشان داد که تأثیر تنش خشکی بر دمای تاج‌پوشه‌ی برگ معنی‌دار ($p<0/001$) می‌باشد (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین دمای تاج‌پوشه مربوط به تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی بود. با این حال، بین این تیمار و تیمار تنش در مرحله‌ی گلدهی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول 4). بر مبنای بیلان انرژی در سطح برگ، تنزّل تعرق منجر به افزایش دمای تاج‌پوشه می‌گردد (Carcova *et al.*, 1998). همچنین، اختلاف معنی‌داری بین دمای تاج‌پوشه‌ی برگ ژنوتیپ‌های مختلف کلزا ($p<0/001$) مشاهده شد (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین دمای تاج‌پوشه مربوط به ژنوتیپ‌های HW101، L201، L210 و KR18 و کمترین آن نیز مربوط به ژنوتیپ KR4 بود (جدول 4). برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در هریک از شرایط تنش نیز نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله‌ی گلدهی مابین ژنوتیپ‌های کلزا از نظر دمای تاج‌پوشه اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول 3). در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های HW113، RS12، KR18، L210 و L5 دارای دمای تاج‌پوشه‌ی بیشتری نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بودند. کمترین دمای تاج‌پوشه را نیز ژنوتیپ HW118 دارا بود. در شرایط تنش در مرحله‌ی گلدهی نیز ژنوتیپ‌های L201، HW101 و KR18 دمای تاج‌پوشه‌ی بیشتری نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها داشتند که نشان از تنظیم هدایت روزنه‌ای در این ژنوتیپ‌ها دارد. کمترین دمای تاج‌پوشه نیز در این شرایط متعلّق به ژنوتیپ KR4 بود (جدول 5).

تعداد خورجین در بوته

تعداد خورجین در بوته نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی ($p<0/001$) قرار گرفت (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین خورجین در بوته از تیمار بدون تنش خشکی و کمترین آن نیز از تیمار تنش در مرحله‌ی گلدهی بوته‌های کلزا به‌دست آمد (جدول 4). بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نیز از نظر تعداد خورجین در بوته اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین خورجین در بوته متعلّق به ژنوتیپ‌های L5 و HW118 بود، ولی بین آنها و سایر ژنوتیپ‌های کلزا به‌استثنای ژنوتیپ KS7 تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول 4). در برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در هریک از شرایط تنش نیز مشخّص شد که تنها در شرایط تنش در مرحله‌ی گلدهی از نظر تعداد خورجین در بوته اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های کلزا وجود دارد (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد خورجین در بوته مربوط به ژنوتیپ‌های Karaj3، HW101، HW118 و L5 و کمترین آن نیز مربوط به ژنوتیپ KS7 بود. تنش خشکی در این مرحله‌ی رشدی موجب کاهش شدید تعداد خورجین در بوته‌ی ژنوتیپ‌های L210، KS7، L72 و KR4 شد و کمترین تأثیر را روی ژنوتیپ‌های Karaj1 و L183 داشت (جدول 5). به‌دلیل عرضه‌ی کمتر مواد فتوسنتزی، تنش خشکی در مرحله‌ی گلدهی باعث ریزش گل و تخمدان‌های در حال رشد می‌گردد. این نتایج، بیانگر این واقعیت است که گلدهی و مراحل اولیه‌ی نمو خورجین‌ها، از مراحل ضروری کلزا برای آبیاری بوده و در صورت عدم تأمین آب کافی در این مرحله، تعداد خورجین در واحد سطح، کاهش معنی‌داری خواهد یافت (Pasban Eslam *et al.*, 2000). تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی تأثیری روی تعداد خورجین در بوته‌ی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نداشت (جدول 3).

تعداد دانه در خورجین

تأثیر تنش خشکی بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار نبود، ولی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا پاسخ‌های متفاوتی نسبت به تعداد دانه در خورجین نشان دادند (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در خورجین از ژنوتیپ‌های RS12 و L146 حاصل شد. البتّه، بین این ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های HW113، Karaj1، L73، HW101، SW101، L210، HW118، Karaj2 و Karaj3 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین تعداد دانه در خورجین نیز مربوط به ژنوتیپ L201 بود (جدول 4).

جدول 3- تجزیه واریانس و برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در هریک از شرایط تنش (میانگین مربعات)

Table 3- Analysis of variance and slicing interactions between canola genotypes and drought stress (Mean square)

منبع تغییرات S. O. V.	درجه آزادی d.f	دمای تاج‌پوشه Canopy temp.	تعداد خورجین در بوته No. pods per plant	تعداد دانه در خورجین No. seeds per pod	وزن هزاردانه 1000-kernel wt.	ماده‌ی خشک گیاهی Dry matter	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	2.58	187.95	21.1	1.02	146385	1642157
تنش خشکی Drought stress (A)	2	1341.11***	279.90***	0.76^{ns}	0.35^{ns}	37569143^{ns}	65234266***
خطای a Error a	4	23.59	3.74	6.54	0.34	34591475	1815522
ژنوتیپ Genotype (B)	17	2.36***	15.05**	3.8*	0.03^{ns}	2902197*	741461***
AB	34	2.25***	14.40***	3.49*	0.07^{ns}	2590183*	545299***
خطای b Error b	102	1	7.03	2.18	0.05	1569798	96672
ضریب تغییرات C.V.	-	3.99	2.66	4.91	7.04	14.17	10.24
برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا برای هر یک از شرایط تنش خشکی Slicing interactions between canola genotypes and drought stress							
بدون تنش خشکی No stress	17	2.96***	11.95^{ns}	4.04*	-	2471697^{ns}	1165486***
تنش در مرحله‌ی گلدهی Drought stress in flowering stage	17	2.56***	21.86***	2.87^{ns}	-	2282064^{ns}	275790***
تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی Drought stress in pod setting stage	17	1.33^{ns}	10.04^{ns}	3.85*	-	3328801**	390783***

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال 5، 1 درصد و عدم معنی‌داری را نشان می‌دهند.

* and ** shows significantly different at α=0.05 and α=0.01, respectively and ns is not significantly different.

برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در هریک از شرایط تنش نیز نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی از نظر تعداد دانه در خورجین بین ژنوتیپ‌های کلزا در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در خورجین در شرایط بدون تنش به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های L146، RS12 و Karaj1 و کمترین آن نیز از ژنوتیپ L210 حاصل شد. در شرایط تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی نیز بیشترین تعداد دانه در خورجین مربوط به ژنوتیپ RS12 و کمترین آن نیز مربوط به ژنوتیپ L72 بود (جدول 5). به‌طور کلی، در شرایط تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی بین ژنوتیپ‌های کلزا اختلاف چندان زیادی مشاهده نشد و تعداد دانه در خورجین در مقایسه با شرایط بدون تنش تغییرات اساسی نداشته و مقادیر آنها به یکدیگر نزدیک بود. Fathi *et al.* (2010) نیز در بررسی تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین و تغییرات این دو صفت در تیمارهای مختلف مشخّص نمودند که تأثیرپذیری تعداد دانه در خورجین در اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی کمتر از تعداد خورجین در بوته است.

وزن هزاردانه

تأثیر تنش خشکی بر وزن هزاردانه‌ی کلزا در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن در شرایط بدون تنش و کمترین آن نیز در شرایط وقوع تنش در مرحله‌ی گلدهی و خورجین‌دهی به‌دست آمد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). به‌نظر می‌رسد بوته‌های کلزا با کاهش تعداد خورجین در بوته و یا سایر اجزای عملکرد سعی در حفظ وزن هزاردانه‌ی خود داشته‌اند. تنش خشکی تأثیری بر وزن هزاردانه‌ی نخود نداشت، به‌طوری‌که در شرایط تنش از تعداد غلاف‌ها کاسته شده و مواد فتوسنتزی صرف پر شدن دانه‌های موجود شد (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2014). تأثیر ژنوتیپ و اثرات متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ بر وزن هزاردانه‌ی کلزا معنی‌دار نبود (جدول 3).

جدول 4- تأثیر زمان وقوع تنش خشکی و نوع ژنوتیپ روی عملکرد و اجزای آن در کلزای پاییزه
Table 4- Effects of drought stress and genotype on canola yield and its components

تنش خشکی Drought stress	دمای تاج‌پوشه Canopy temp.	تعداد خورجین در بوته No. pods per plant	تعداد دانه در خورجین No. seeds per pod	ماده‌ی خشک گیاهی Dry matter (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
بدون تنش خشکی No stress	19.23	101.93	29.87	9788.43	4255.63
تنش در مرحله‌ی گلدهی Drought stress in flowering stage	27.83	97.38	30.05	8211.16	2119.63
تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی Drought stress in pod setting stage	27.88	99.56	30.1	8529.33	2737.91
LSD (0.05)	**2.59**	**1.03**	**1.37**	**3142.6**	**719.96**
ژنوتیپ‌ها Genotypes					
HW113	25.08	100.92	30.47	8333.3	2693.67
RS12	25	99.18	31.06	8950.6	2781.02
Karaj1	24.83	98.77	30.22	8256.2	2888.73
KR18	25.39	99	29.22	8410.5	2777.47
L73	24.74	98.85	29.78	8487.7	3310.65
L72	24.52	98.89	29.33	9027.8	3635.93
HW101	26	99.77	29.89	9567.9	3199.23
L146	25	100	31	8623.4	3092.28
L210	25.39	99.63	29.89	8410.5	3161.11
L183	24.61	99.29	29.62	9336.4	3540.43
SW101	25.28	99	30.69	8642	3140.31
L5	24.94	101.14	29.56	9567.9	3162.96
L201	26	100.73	29	9103.6	2960.34
HW118	24.62	101.39	30.67	8906.3	3156.01
KR4	23.86	99.92	29.25	10090.9	2938.43
Karaj2	24.67	100.55	30.56	8008.9	2985.03
Karaj3	24.89	100.52	30.44	8179	2596.31
KS7	24.83	95.72	29.44	9270.7	2659.12
LSD (0.05)	**0.93**	**2.48**	**1.38**	**1171.5**	**290.72**

ماده‌ی خشک گیاهی

تأثیر تنش خشکی بر ماده‌ی خشک کلزا معنی‌دار ($p<0/001$) بود (جدول 3)، به‌طوری‌که کمترین ماده‌ی خشک از تیمار تنش در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب با 8211/16 و 8529/32 کیلوگرم در هکتار حاصل شد و بیشترین آن نیز مربوط به تیمار بدون تنش خشکی (9788/43 کیلوگرم در هکتار) بود (جدول 4). از نظر ماده‌ی خشک گیاهی بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نیز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال 5 درصد مشاهده شد (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین ماده‌ی خشک مربوط به ژنوتیپ KR4 و کمترین آن نیز مربوط به ژنوتیپ Karaj2 بود (جدول 4). برش‌دهی اثر متقابل ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در هریک از شرایط تنش نیز نشان داد که در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله‌ی گلدهی بین ژنوتیپ‌های کلزا اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تنها تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی موجب اختلاف در ماده‌ی خشک ژنوتیپ‌های کلزا شد (جدول 3). بیشترین ماده‌ی خشک در شرایط تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی مربوط به ژنوتیپ‌های L201 و KR4 و کمترین آن نیز مربوط به ژنوتیپ‌های Karaj3 و Karaj2 بود. با این حال، در مقایسه با شرایط بدون تنش، ژنوتیپ‌های HW101 و L201 کمترین کاهش در ماده‌ی خشک و ژنوتیپ‌های L72 و KR4 بیشترین کاهش را نشان دادند (جدول 5).

عملکرد دانه

تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه‌ی کلزا در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش خشکی و کمترین آن نیز در شرایط تنش در مرحله‌ی گلدهی به‌دست آمد (جدول 4). مراحل گلدهی و نمو خورجین‌ها در کلزا از نظر نیاز گیاه به آب مراحل بحرانی می‌باشند، زیرا اعمال تنش در این مراحل به دلیل اثر نامناسب بر میزان جذب آسیمیلات‌ها موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Blum, 2005).

بین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا نیز از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول 3)، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های L72 و L183 (به‌ترتیب با 3635/93 و 3540/43 کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن نیز مربوط به ژنوتیپ Karaj3 بود (جدول 4). در برش‌دهی اثر متقابل ارقام مختلف کلزا برای هریک از شرایط تنش مشخّص شد که در شرایط تنش و بدون آن مابین ژنوتیپ‌های مختلف کلزا اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول 3)، به‌طوری‌که در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های L72 و L183 دارای بیشترین و ژنوتیپ KS7 دارای کمترین عملکرد دانه بودند. انتقال مجدّد ماده‌ی خشک در پر کردن دانه‌ها نقش مؤثری دارد و رفتار اندام‌های هوایی در انتقال مجدّد مواد پرورده‌ی ذخیره شده به دانه متفاوت بوده و ساقه‌ها و برگ‌ها به‌ترتیب نقش بیشتری در انتقال مجدّد ماده‌ی خشک و نیتروژن ایفا می‌کنند (Walton *et al.*,1999). رشد رویشی مناسب و توزیع مناسب مواد فتوسنتزی بین برگ، ساقه و ریشه‌ی ارقام پی. اف، هایولا 308، لیکورد و اُپرا در مرحله‌ی قبل از گلدهی سبب شد تا در مراحل بعدی رشد بتوانند نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در پر کردن دانه‌ها و درنهایت عملکرد دانه برتر باشند (Monajem *et al.*, 2011). از این‌رو، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط بدون تنش ماده‌ی خشک بیشتری تولید کردند، عملکرد دانه‌ی بالایی نیز در همین شرایط رشدی داشتند. تنش در مرحله‌ی گلدهی بیش از تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی روی عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های کلزا مؤثر بود و مقادیر آنها را کاهش داد. وقوع تنش کمبود آب از مرحله‌ی اواسط گل‌دهی تا رسیدگی محصول در کلزا باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌گردد (Pasban Eslam *et al.*, 2000). ژنوتیپ‌های HW101 و SW101 دارای بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش در مرحله‌ی گلدهی بودند و کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به ژنوتیپ L146 بود. تنش خشکی در این مرحله‌ی رشدی روی ژنوتیپ‌های L72، L146، L210 و Karaj2 بیشترین تأثیر و روی ژنوتیپ‌های KR18، SW101، Karaj3 و HW101 کمترین تأثیر را نسبت به شرایط بدون تنش داشت. ژنوتیپ‌های L146، L183 و HW118 دارای بیشترین عملکرد دانه در شرایط تنش در مرحله‌ی خورجین‌دهی بودند و کمترین عملکرد دانه در این شرایط از تنش نیز مربوط به ژنوتیپ KR4 بود (جدول 5). تنش در این مرحله‌ی رشدی منجر به بیشترین کاهش در عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های L72 و KR4 و کمترین کاهش در عملکرد دانه‌ی ژنوتیپ‌های HW101 و SW101 نسبت به شرایط بدون تنش شد. افزایش سقط جنین و کاهش تعداد بذر و خورجین به‌واسطه‌ی کاهش فراهمی مواد پرورده از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه‌ی کلزا در شرایط تنش رطوبتی ذکر گردیده است (Diepenbrock, 2000). در واقع خشکی به‌طور غیرمستقیم، میزان مواد فتوسنتزی صادر شده از برگ‌ها را کاهش می‌دهد، زیرا انتقال شیره از آوند آبکش وابسته به پتانسیل فشاری است و در طی تنش کم آبی پتانسیل آب در آوند آبکش کاهش می‌یابد که کاهش در پتانسیل آماس (تورگر) از انتقال مواد فتوسنتزی و درنهایت از مقدار آسیمیلات ذخیره‌ای می‌کاهد که این امر آسیب‌پذیری تشکیل خورجین و دانه را در شرایط کم آبی افزایش می‌دهد (Basra and Basra, 1997).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل نشان داد که تنش در مرحله‌ی گلدهی و خورجین‌دهی کلزا که در این مراحل نسبت به کمبود آب حسّاس است می‌تواند اجزای عملکرد کلزا را کاهش داده و متعاقباً عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دهد. در شرایط بدون وجود تنش، ژنوتیپ‌های L72، L146، L183، L210 و Karaj2 توانستند عملکرد قابل توجهی را تولید کنند و از این‌رو مناسب کاشت در زمین‌های فاریاب و با مقدار کافی بارندگی به‌خصوص در مراحل حسّاس فنولوژیکی می‌باشند. درحالی‌که، چنین ژنوتیپ‌هایی مناسب کاشت در زمین‌های خشک و نیمه‌خشکی نظیر اکثر مناطق ایران نمی‌باشند که با مشکل کم‌آبی نیز مواجه‌اند. در مقابل، ژنوتیپ‌هایی نظیر KR18، HW101، SW101 و Karaj3 با وجودی‌که نمی‌توانند نسبت به شرایط بدون تنش کم آبی به اندازه‌ی ژنوتیپ‌های فوق‌الذکر عملکرد دانه داشته باشند، ولی می‌توانند در شرایط وقوع تنش در مراحل حسّاس فنولوژیکی به‌خصوص گلدهی کمترین کاهش را داشته و عملکرد دانه‌ی خود را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بهتر حفظ کنند. البتّه، ژنوتیپ L183 نیز توانست عملکردی معادل با ژنوتیپ‌های مقاوم و متحمّل به تنش داشته باشد، ولی مقدار کاهش عملکردی آن نسبت به شرایط بدون تنش بسیار زیاد بود. از این‌رو، از بین 18 ژنوتیپ مورد بررسی در این تحقیق برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم یا متحمّل به تنش ژنوتیپ‌هایی چون KR18، HW101، SW101 و Karaj3 جزو بهترین گزینه‌ها قلمداد می‌شوند که می‌توان آنها را در مناطق مختلف کشور براساس تطابق آب و هوایی کاشته و کارهای اصلاحی بیشتری در این زمینه نیز روی آنها انجام داد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان و مسئولین محترم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی که در اجرای تحقیق حاضر و ارائه‌ی هرچه بهتر کیفیت مقاله ما را یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

جدول ۵- مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در شرایط تنش و بدون آن روی عملکرد، اجزای آن و دمای تاج‌پوشه

Table 5- Canola genotypes comparison in drought and no stress conditionson yield, its components and canopy temperature

ژنوتیپ‌ها Genotypes	دمای تاج‌پوشه Canopy temp. (°C)		تعداد خورجین در بوته No. pods per plant		تعداد دانه در خورجین No. seeds per pod		ماده‌ی خشک گیاهی Dry matter (kg ha^{-1})		عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})			
	شرایط تنش خشکی Drought stress											
	بدون تنش No stress	گلدهی Flowering stage	بدون تنش No stress	گلدهی Flowering stage	بدون تنش No stress	خورجین‌دهی Pod setting stage	بدون تنش No stress	خورجین‌دهی Pod setting stage	بدون تنش No stress	گلدهی Flowering stage	خورجین‌دهی Pod setting stage
HW113	20.85 (0.71)	26.83 (1.01)	102.55	98.66 (1.54)	30.75 (0.21)	30.67 (0.88)	9722.22	8339.44 (1388.89)	3835.19 (261.11)	2018.06 (323.57)	2227.78 (159.25)
RS12	20.33 (0.33)	27 (1)	101.66	98.99 (1.67)	31.33 (0.67)	32.67 (1.20)	9715.23	8564.81 (834.62)	4215.28 (466.72)	1726.39 (192.11)	2401.39 (154.06)
Karaj1	19.67 (0.44)	27.67 (1.17)	98.33	98.44 (1.79)	31.33 (0.88)	29.33 (1.20)	8333.33	7638.89 (1747.65)	3800 (202.78)	2111.57 (104.26)	2754.63 (252.95)
KR18	20.17 (0.73)	28.83 (0.17)	102.44	99.55 (1.44)	28.33 (0.67)	29.67 (1.45)	8564.82	9027.78 (400.94)	3487.5 (282.76)	2424.07 (323.84)	2420.83 (97.92)
L73	19.33 (0.67)	27.23 (0.4)	101.33	98.89 (2.59)	30 (1)	29.33 (0.88)	9027.78	8796.3 (462.96)	4464.81 (567.24)	2411.57 (228.21)	3055.56 (116.17)
L72	17.23 (0.23)	28 (0.5)	102.33	94.78 (2.25)	29 (0.58)	28 (0)	11111.11	8101.85 (1009)	5705.46 (264.65)	2275.93 (284.62)	2926.39 (47.51)
HW101	19.67 (0.33)	29.17 (1.2)	102.31	99.55 (2.41)	30 (0.58)	30 (1)	9490.74	9490.74 (1620.37)	3987.04 (307.03)	2603.70 (218.83)	3006.94 (59.86)
L146	19.33 (0.17)	28.33 (1.17)	101	98.66 (1.07)	32.33 (0.88)	29.67 (0.67)	8796.3	8509.04 (263.83)	4494.44 (280.34)	1661.11 (74.54)	3121.30 (390.49)
L210	20 (0.58)	27.83 (0.93)	105.44	93.35 (2.14)	30.33 (1.45)	27.66 (0.66)	10185.19	7175.93 (1224.89)	4832.41 (196.87)	1832.41 (170.50)	2818.52 (272.22)
L183	17.83 (0.44)	27.67 (0.88)	99.11	98.66 (3.28)	30.53 (0.74)	29 (1.53)	10879.63	9027.78 (1060.78)	5087.04 (108.64)	175.212417.13)	3117.13 (209.91)
SW101	18.83 (0.17)	28.33 (1.01)	101.22	95.22 (2.89)	29.67 (0.67)	30.75 (0.45)	10416.67	8564.81 (1669.24)	3734.72 (428.58)	2636.20 (304.18)	3050 (178.49)
L5	20.17 (1.09)	27 (0.76)	102.22	99.44 (3.13)	29.33 (1.33)	30 (1.15)	9710.34	8796.3 (462.96)	4417.59 (180.42)	2141.20 (174.70)	2930.09 (65.82)
L201	19.17 (0.44)	29.83 (0.44)	102.33	97.53 (1.11)	30.33 (0.88)	28.33 (0.88)	9739.52	9700.78 (834.77)	4176.39 (69.34)	1793.98 (318.71)	2910.65 (69.52)
HW118	17.33 (0.83)	28 (0.29)	105.11	99.55 (0.67)	30 (0.58)	31.67 (0.88)	9705.25	7968.93 (1247.27)	4493.48 (170.19)	1872.69 (119.15)	3101.85 (111.18)
KR4	18.83 (0.33)	25.75 (1.06)	104.22	97.66 (0.88)	28.75 (0.75)	30.33 (0.33)	12037.04	9716.31 (801.88)	4579.63 (437.85)	2219.91 (410.98)	2015.74 (82.61)
Karaj2	18.67 (0.44)	28 (1)	101.56	97.55 (1.16)	30 (1.15)	31.33 (1.20)	9507.82	6944.44 (801.88)	4624.07 (197.82)	1784.26 (167.46)	2546.76 (101.51)
Karaj3	19.33 (0.17)	27.67 (0.17)	103.44	100 (1.07)	29.67 (0.88)	30.33 (1.76)	9490.74	6481.48 (2018)	3448.20 (346.42)	2218.52 (317.72)	2122.22 (299.28)
KS7	19.33 (0.33)	27.83 (0.73)	98.22	89.38 (1.12)	28.67 (0.33)	30.33 (0.33)	9716.54	9082.44 (481.03)	3418.11 (301.75)	2004.63 (269.05)	2154.63 (38.21)

*اعداد داخل پرانتز مربوط به خطای استاندارد صفات اندازه‌گیری شده می‌باشد.

* Standard errors are in parentheses.

References

1. Aliari, H., Shekari, F., and Shekari, F. 2000. Oil Seeds: Cultivation and Physiology. Amidi Press, Tabriz, Iran. (in Persian).
2. Basra, A. S., and Basra, R. K. 1997. Mechanism of environmental stress resistance in plants. Harwood Academic Publishers, Netherlands.
3. Betran, F. J., Beck, D., Banziger, M., and Edmeades, G. O. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. Crop Science 43: 807-817.
4. Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168.
5. Carcova, J., Maddonni, G. A., and Ghersa, C. M. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. Field Crops Research 55: 165-174.
6. Ceccarelli, S., and Grando, S. 1991. Selection environment and environmental sensitivity in barley. Euphytica 57: 157-167.
7. Chaghakaboodi, Z., Zebarjadi, A. R., and Kahrizi, D. 2012. Evaluation of rapeseed genotypes response to drought stress via callus culture. Agricultural Biotechnology 10 (2): 49-57. (in Persian with English abstract).
8. Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting at synthesis. Trends in Plant Science 5 (5): 187-188.
9. Debaeke, P., and Aboudrare, A. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. European Journal of Agronomy 21: 433-446.
10. Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. Field Crops Research 67: 35-49.
11. Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A., and Shirani Rad, A. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management 96: 132-140.
12. Fathi, G., Moradi-Telavat, M. R., and Naderi Arefi, A. 2010. Rapeseed Physiology. Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran. (in Persian).
13. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. PP 257-270. Proceedings of the International Symposium on "Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress", 13-16 August, Taiwan.
14. Khan, M. A., Ashraf, M. Y., Mujtaba, S. M., Shirazi, M. U., Khan, M. A., Shereen A., Mumtaz, S., Aqil Siddiqui, M., and Murtaza Kaleri, G. 2010. Evaluation of high yielding canola type Brassica genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool. Pakistan Journal of Botany 42: 3807-3816.
15. Koocheki, A., Yazdansepas, A., and Nikkhah, H. R. 2006. Effect of terminal drought on grain yield and some morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Science 8: 14-29. (in Persian with English abstract).
16. Krogman, K. K., and Hobbs, E. H. 1975. Yield and morphological response of rape (*Brassica campestris* L. cv. Span) to irrigation and fertilizer treatments. Canadian Journal of Plant Science 55: 903-909.
17. Kumar, A., and Singh, D. P. 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica* species. Annals of Botany 81: 413-420.
18. Ma, Q., Niknam, S. R., and Turner, D. 2006. Response of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. Australian Journal of Agricultural Research 57: 221-226.
19. Monajem, S., Ahmadi, A., and Mohammadi, V. 2011. Effects of drought stress in reproductive stages on photoassimilates partitioning of rapeseed (*Brassica napus*). Electronic Journal of Crop Production 3 (3): 163-178. (in Persian with English abstract).
20. Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B., and Kholdebarin, B. 2004. Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A 28 (A1): 43-50.
21. Pasban Eslam, B. 2009. Evaluation of physiological indices, yield and its components as screening techniques for water deficit tolerance in oilseed rape cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology 11: 413-422.
22. Pasban Eslam, B., Shakiba, M. R., Neishabori, M. R., Moghaddam, M., and Ahmadi, M. R. 2000. Effects of water stress on quality and quantity characteristics of rapeseed. Iranian Journal of Agricultural Science 10: 75-85. (in Persian with English abstract).
23. Pourdad, S., Alizadeh, K., Azizineghad, R., Shariati, A., Eskandari, M., Khiavi, M., and Nabati, E. 2008. Study on drought resistance in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in different locations. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 12: 403-415. (in Persian with English abstract).
24. Rajaram, S., and van Ginkle, M. 2001. Mexico 50 years of international wheat breeding. PP 579-604 in A. P. Bonjean and W. J. Angus eds. The world wheat book: A history of wheat breeding. Lavoisier Publication, Paris, France.

25. Rathjen, A. J. 1994. The biological basis of genotype × environment interaction: its definition and management. Proceedings of the Seventh Assembly of the Wheat Breeding Society of Australia, Adelaide, Australia.
26. Sheykh, F., Tourchi, M., Valizadeh, M., Shakiba M. R., and Pasban Eslam, B. 2005. Drought resistance evaluation in spring rapeseed cultivars. Journal of Agricultural Science 15 (1): 163-174. (in Persian with English abstract).
27. Simane, B., Struik, P. C., Nachit, M. M., and Peacock, J. M. 1993. Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. Euphytica 71: 211-219.
28. Sinaki, J. M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, G., and Zarei, H. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 2: 417-422.
29. Singh, D. P., Singh, P., Ashok, K., and Sharma, C. 1985. Transpirational cooling as a screening technique for drought tolerance in oil seed brassicas. Annals of Botany 56: 815-820.
30. Sio-Se Mardeh, P., Sadeghi, F., Kanouni, H., Bahramnejad, B., and Gholami, S. 2014. Effect of drought stress on physiological traits, grain yield and its components in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Science 16 (2): 91-108. (in Persian with English abstract).
31. Walton, G., Mendham, N., Robertson, M., and Potter, T. 1999. Phenology, physiology and agronomy. Chapter 3. PP 9–14 in P. A. Salisbury, T. Potter, G. McDonald, and A. G. Green eds. Canola in Australia: the first thirty years (Organizing Committee of the 10th International Rapeseed Congress: Canberra).
32. Wright, P. R., Morgan, J. M., and Jessop, R. S. 1996. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: Plant water relations and growth. Field Crops Research 49 (1): 51-64.
33. Xiao, Y. N., Li, X. H., George, M. L., Li, M. S., Zhang, S. H., and Zheng, Y. L. 2005. Quantitative trait locus analysis of drought tolerance and yield in maize in China. Plant Molecular Biology Reporter 23: 155-165.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 4, Winter. 2018, p. 914-924

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد 15، شماره 4، زمستان 1396، ص. 924-914

Effects of Drought Stress on Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes Yield and Yield Components

R. Khani[1]- A. R. Sadeghi Bakhtvari[2]- B. Pasban Eslam[3]- V. Sarabi[2*]

Received: 23-08-2016
Accepted: 06-02-2017

Introduction

Canola (*Brassica napus* L.) genotypes with wide adaptability to environmental conditions could play a major role in Iran's oilseed crop production. Selection of high performing genotypes is very important for developing canola cultivation. Water stress can reduce crop yield by affecting both source and sink for assimilation. Canola yield depends on genotype and environmental conditions and response of genotypes to environmental factors. Canola genotypes response to stress depends on the developmental stage and the events occurring prior to and during flowering stage. Resistance to water stress is divided to avoidance and tolerance. Some species are tolerable against water stress. In a while, other species respond ending life cycle, falling leaves and other reactions into water stress. Therefore, investigation of canola genotypes response to water stress in phenological growth stages can be valuable in order to determine resistant or tolerant genotypes.

Materials and Methods

In order to study the effect of drought stress on canola genotypes yield and its components, an experiment was conducted in 2013-2014 as a split plot based on randomized complete block design with three replications at the research farm, Agricultural and Natural Resources Research Center of East-Azarbaijan, Tabriz-Iran. Three levels of drought stress were considered as main plot (No-stress, stress at the flowering and pod setting growth stages) and 18 canola genotypes including HW113, RS12, Karaj1, KR18, L73, L72, HW101, L146, L210, L183, SW101, L5, L201, HW118, KR4, Karaj2, Karaj3 and KS7 as subplots. Flood irrigation was scheduled at 50% field capacity, 30 and 30% field capacity for no-stress, stress at the flowering and pod setting growth stages, respectively; i.e. soil moisture capacity was maintained at 30% by irrigating to 100% field capacity when available moisture reached 30% in drought stress treatments. An ANOVA was conducted using the PROC-GLM procedure in SAS ver. 9.2 and Minitab ver. 17 to test for normality. Means were separated using Fishers Least Significant Difference (LSD) set at a 0.05 significance level.

Results and Discussion

As expected, canola genotypes showed different responses to availability of water at flowering and pod setting growth stages. Results indicated that drought stress at flowering and pod setting growth stages had severe influence on canola genotypes yield and its components. L72, L146, L183, L210 and Karaj 2 genotypes tend to produce higher yields compared to other genotypes in no-stress conditions. Hence, these genotypes are suitable for planting in irrigated lands or place that enough precipitation downfall especially in their phenological growth stages. In contrast, these genotypes are not suitable for planting in arid or semi-arid regions like Iran, because the yields reduced severely in drought stress conditions. However, KR18, HW101, SW101 and Karaj3 genotypes could not produce as same yield as L72, L146, L183, L210 and Karaj2 genotypes in no-stress condition, they had minimum yield loss in susceptible phenological growth stages especially flowering growth stage compared to other genotypes. L183 genotype could produce yield similar to tolerant genotypes, but its yield loss was high in comparison with no stress condition.

Conclusions

Based on our findings in this study, KR18, HW101, SW101 and Karaj3 can be considered the best among other 18 genotypes in the selection of genotypes tolerant to drought stress occurring in flowering and pod setting stages. However, this study must be repeated in other climates and different drought stress conditions to acknowledge what we achieved in this research. After that, decision can be made about planting these genotypes tolerant in arid and semi-arid regions. In this regard, we can also do more comprehensive works can be done on breeding of these genotypes, because water crisis will be the future challenge in Iran.

Keywords: Flowering, Oil crops, Phenological stages, Pod setting, Yield loss

1- Graduated Master's degree, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
3- Associate Professor, Horticulture and Crops Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran
(*- Correspondin Author Email: Sarabi20@azaruniv.edu)