Archive of SID

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۵۹۷-۵۸۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 583-597

ارزیابی تحمل به خشکی چهار رقم کلزا (*Brassica napus* L.) براساس خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

احد جمشیدی زیناب[۱]- طاهره حسنلو[۲*]- امیر محمد ناجی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی در مرحله گل‌دهی بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه کلزا، آزمایشی، در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد طی سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نمونه‌برداری از گیاهان ۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش انجام شد. آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح به‌صورت آبیاری معمولی یا شاهد (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و تنش در مرحله گل‌دهی (آبیاری پس از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و ارقام (Oise، Triangle، Karun و SLM046) در چهار سطح به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای در کلیه ارقام مورد مطالعه کلزا گردید، در حالی‌که محتوای قندهای محلول، پرولین و عدد کلروفیل در اثر تنش خشکی افزایش یافت. در بین ارقام مورد بررسی ژنوتیپ SLM046 از نظر صفات عملکرد، وزن هزاردانه، تعداد غلاف در بوته، محتوای نسبی آب برگ و هدایت روزنه‌ای به سایر ارقام برتری داشت و در مقایسه با سایر ارقام نسبت به تنش خشکی متحمل‌تر بود. رقم SLM046 بالاترین و رقم Karun کم‌ترین عملکرد (به‌ترتیب با ۲۵۵۳ و ۲۱۷۸ کیلوگرم در هکتار) را در شرایط تنش به‌خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، عملکرد، قندهای محلول، مالون دی‌آلدهید، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

دانه‌های روغنی از تولیدات مهم محصولات کشاورزی می‌باشند، که علاوه بر مصارف صنعتی، از لحاظ تغذیه نیز اهمیت به‌سزایی دارند. دانه‌های روغنی با توجه به بازار مصرف وسیع و اهمیت تغذیه‌ای بالا، در سطح ملی از اولویت خاصی برخوردار می‌باشند (۲۲). کلزا (*Brassica napus* L.) گیاهی است یک ساله با تیپ‌های بهاره و پاییزه که با توجه به شرایط اکولوژیک مناطق مختلف مورد زراعت قرار می‌گیرد (۳۱) و به‌عنوان یک گیاه روغنی با بیش از ۴۰ درصد روغن در دانه، از گیاهان مهم جهت توسعه‌ی کشت و تولید روغن گیاهی در ایران است و به‌دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد آن از جمله، قابلیت کشت در نقاط مختلف کشور، درصد و کیفیت بالای روغن به‌عنوان نقطهٔ امیدی جهت تأمین روغن خام مورد نیاز کشور به‌شمار می‌رود (۶). کلزا با اختصاص ۱۵درصد کل تولید روغن گیاهی و سطح زیر کشت حدود ۳۱۶۸۱۰۰۰ هکتار، بعد از سویا (*Glycin max*) و نخل روغنی (*Elaeis oleifera*)، مهم‌ترین منبع تولید روغن خوراکی در جهان می‌باشد. سطح زیر کشت این محصول در سال ۱۳۹۰ در ایران برابر، ۹۳۰۰۰ هکتار بوده که با متوسط عملکرد ۲۱۸۱کیلوگرم در هکتار میزان ۱۹۰۰۰۰ تن دانه از آن برداشت گردیده است (۷).

تنش خشکی یکی از شایع‌ترین تنش‌های محیطی است و تقریباً هرساله حدود ۲۵ درصد از تولید محصولات کشاورزی در جهان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (۱۶). ایران با متوسط ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی در سال جزء مناطق خشک دنیا محسوب می‌شود (۹). در ایران تولیدات گیاهان روغنی به‌وسیله خشکی و شوری خاک محدود می‌شود. بنابراین، بررسی پاسخ ارقام مختلف به تنش کم آبی در مراحل حساس از رشد گیاه در گزینش ارقام متحمل به خشکی بسیار با ارزش است. به‌طوری‌که امروزه، یکی از راه حل‌های مقابله با تنش

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی دانشگاه شاهد تهران
۲- استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: thasanloo@abrii.ac.ir)
۳- استادیار دانشگاه شاهد تهران، گروه بیوتکنولوژی کشاورزی

www.SID.ir

Archive of SID

کمبود آب، شناسایی و معرفی ارقام جدید متحمل به تنش خشکی است (۳۴ و ۳۸). علاوه بر شدت تنش و طول دوره آن، مرحله رشدی که گیاه تحت تنش قرار می‌گیرد نیز برای رشد و عملکرد آن حائز اهمیت است (۳۲). گیاه کلزا در هر دو مرحله رویشی و زایشی نسبت به تنش کم‌آبی حساس است اما بیش‌ترین حساسیت را در مرحله‌ی زایشی نشان می‌دهد (۲۹). اعمال تنش خشکی در طی مراحل ساقه‌دهی و گل‌دهی و پر شدن غلاف‌ها در کلزا، تعدا دانه در غلاف را کاهش داده و خشکی اعمال شده در اوایل گل‌دهی نسبت به دو مرحله دیگر بیش‌ترین کاهش را در تعداد دانه در غلاف نشان داده است (۱). عملکرد دانه در گیاه کلزا تابع مجموع اثرات اجزای مختلف عملکرد شامل تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه می‌باشد. تنش کم آبی در مرحله گل‌دهی عملکرد و اجزای عملکرد کلزا را از طریق کاهش تعداد غلاف‌ها و تعداد دانه در غلاف‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۲ و ۱۹). عملکرد و اجزای عملکرد کلزا به‌طور مؤثری تحت تأثیر مقدار آب قابل دسترس در مرحله پر شدن دانه قرار می‌گیرند (۴ و ۵). تعداد غلاف در بوته سهم مهمی در عملکرد کلزا دارد (۳۳).

تجمع اسمولیت‌هایی مانند قندها و پرولین در شرایط تنش کمبود آب می‌تواند باعث تنظیم اسمزی در سلول شوند. حرکت آب از پتانسیل بالا به پتانسیل پایین است و تجمع اسمولیت‌ها داخل سلول از طریق کاهش پتانسیل آب و افزایش جذب آب از کاهش آب داخل سلول جلوگیری می‌کنند (۱۸). تنش خشکی با افزایش در محتوای رادیکال‌های آزاد اکسیژن سبب افزایش در محتوای مالون دی‌آلدهید که محصول پراکسیداسیون چربی‌های غشایی است، می‌شود (۱۵).

زودرسی در کلزا، فرار از خشکی دیررس را از طریق گل‌دهی و تکمیل نمو بذور قبل از وقوع تنش خشکی دیر رس تضمین می‌کند. گزارشات ارائه شده توسط نیلسن (۲۴) نشان‌دهنده وجود عکس‌العمل خطی بین عملکرد دانه و آب مصرفی در گیاه کلزا می‌باشد. میزان عملکرد دانه، روغن دانه و محتوای نسبی آب برگ (RWC[1]) در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. محتوای نسبی آب برگ، یکی از ویژگی‌های مؤثر در تداوم رشد گیاه تحت شرایط خشکی بوده و مقدار بالاتر آن می‌تواند عامل استمرار رشد در شرایط خشکی باشد (۱۴). چنانچه محتوای نسبی آب برگ بالا باشد گیاه تورم سلولی خود را حفظ کرده و رشد آن تداوم می‌یابد (۲۹). با توجه به وجود همبستگی بالا بین توان جذب آب و محتوای نسبی آب برگ در کلزا، به دنبال بروز خشکی و کاهش توان جذب آب، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (۲۶).

با توجه به مسئله کمبود آب در ایران و اهمیت کلزا به‌عنوان یک گیاه دانه روغنی، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی در مرحله گل‌دهی گیاه کلزا و ارزیابی میزان تحمل چهار رقم کلزا تحت شرایط تنش خشکی و انتخاب رقم برتر در شرایط تنش اعمال شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی اثر تنش خشکی در مرحله گل‌دهی گیاه کلزا بر عملکرد و صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی آن، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی یزد طی سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا گردید. یزد با متوسط بارندگی سالانه ۱۰۶ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۹/۲ سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۲۷ درصد و مجموع ساعات آفتابی ۳۴۸۳ ساعت، با اقلیمی خشک در فلات مرکزی ایران واقع شده است. خصوصیات فیزیکی خاک منطقه در جدول ۱ ارائه شده است.

در این آزمایش آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح آبیاری معمولی یا شاهد (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A) و تنش در مرحله گل‌دهی (آبیاری پس از ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در فاصله حدود ۱۵ روز) و ارقام (Oise، Triangle، KarunSLM046) در چهار سطح به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. به‌جز عملیات آبیاری سایر عملیات زراعی در مورد کلیه تیمارها به‌طور یکسان انجام گرفت. قبل از اعمال تنش، همه تیمارها از نظر آبیاری دارای شرایط یکسان بوده و آبیاری تا مرحله گل‌دهی (تا زمانی‌که ۵۰ درصد بوته‌ها به گل رفتند) در کلیه واحدهای آزمایشی به‌طور یکسان انجام شد. در حین اعمال تنش، کرت‌هایی که تحت تنش بودند در مرحله مورد نظر آبیاری نشدند ولی تیمارهای شاهد تا رسیدن رطوبت خاک تا عمق ریشه گیاه به حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. در تیمار شاهد آبیاری در تمام مراحل رشد (پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) انجام شد. کرت‌های آزمایشی به طول پنج متر، عرض ۱/۵متر و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شد. جهت تأمین مواد غذایی بنابر توصیه بخش خاک‌شناسی، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در سه نوبت (۱۰۰ کیلوگرم زمان کاشت، ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۵۰ کیلوگرم در مرحله شروع گل‌دهی)، ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیوم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در زمان کاشت به خاک اضافه شد.کاشت بذور به‌صورت دستی به مقدار شش کیلوگرم در هکتار در تاریخ هشتم آبان ۱۳۹۰ انجام گرفت.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک شامل هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ و قرائت عدد SPAD، نمونه‌برداری از کرت‌های آزمایشی در تیمارهای شاهد و قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی در سه مرحله ۷، ۱۲ و ۲۶ روز صورت گرفت.

1- Relative water content

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical soil test results

Depth of sampleing عمق نمونه‌برداری	EC هدایت الکتریکی	pH	N نیتروژن کل	P فسفر قابل جذب	K پتاسیم قابل جذب	Sand شن	Silt سیلت	Clay رس	Specific weight وزن مخصوص ظاهری	Field capacity ظرفیت زراعی	Wilting point نقطه پژمردگی
(cm)	($dS\ m^{-1}$)		(%)	($mg\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)		(%)		($g\ cm^{-3}$)	(5)	(%)
0- 40	3.88	7.8	0.014	5.02	107.9	64.2	10.8	25	1.39	16.7	4.1

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ‌ها (RWC) از روش اومایی و همکاران (۲۵) استفاده شد، سپس محتوای نسبی آب برگ‌ها بر حسب درصد از طریق معادله ۱ محاسبه شد:

$$RWC\ \% = [(Fw–Dw) / (Tw – Dw)] \times 100 \quad (۱)$$

در این معادله، Fw وزن تر، Tw وزن اشباع و Dw وزن خشک دیسک‌ها (تکه‌های برگ) بر حسب گرم می‌باشند (۲۳).

جهت اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای در برگ‌ها با استفاده از دستگاه‌های پرومتر AP4 (مدل MK, Delta, UK) هدایت روزنه‌ای برگ‌ها برحسب میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه قرائت شد (۲۱). همچنین قرائت عدد SPAD با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج SPAD Unite Minolta502 (مدلJapan) در سه مرحله ۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش آبیاری در مرحله گل‌دهی، انجام شد (۲۱). قندهای محلول کل به روش اشلیگل (۳۴) با استفاده از فنل و اسید سولفوریک، MDA به روش هیت و پیکر (۱۰) و غلظت آن با استفاده از فرمول پیشنهاد شده توسط زنگ و همکاران (۴۲) و پرولین برگ به روش بیتس و همکاران (۲) اندازه‌گیری شدند. عملیات برداشت به‌صورت دستی انجام شد. به‌منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در مساحت ۴/۸ متر مربع از هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه کف‌بر شده و جهت خشک شدن نهایی و رسیدن رطوبت دانه‌ها به ۱۲ درصد، به مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری و پس از جداسازی دانه‌ها از خورجین، وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) تجزیه واریانس شدند و میانگین اثرات اصلی و متقابل به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیک

عدد SPAD

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات فیزیولوژیک در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس اثر سطوح تنش بر عدد SPAD در ۷ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود ولی در ۱۲ روز بعد از تنش غیرمعنی‌دار بود. اثر ارقام فقط در ۲۶ روز پس از اعمال تنش در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل خشکی ×رقم بر عدد SPAD در هیچ یک از برداشت‌های پس از اعمال تنش معنی‌دار نبود (جدول ۲).

بیش‌ترین عدد SPAD در تیمار۲۶ روز پس از اعمال تنش (۵۳/۰۸) و کم‌ترین آن (۳۷/۵۷) در تیمار شاهد ۷ روز پس از اعمال تنش مشاهده شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش عدد SPAD در ۷ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش شد ولی ۱۲ روز پس از اعمال تنش عدد SPAD روند کاهشی داشت، احتمالاً گیاه توانسته است در این مدت خود را با شرایط سازگار کند و از کاهش بیش‌تر سطح برگ ممانعت کند (۲۱).

محتوای نسبی آب

اثر سطوح تنش و اثر رقم بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل خشکی ×رقم بر محتوای نسبی آب برگ فقط در ۲۶ روز پس از اعمال تنش و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ در مرحله نمونه‌برداری، مربوط به رقم SLM046 و به میزان۷۹/۷۱ درصد و کم‌ترین آن متعلق به رقم Oise به میزان ۷۶/۱ درصد بود (شکل ۱).

حفظ محتوای نسبی آب برگ شاخصی برای نشان دادن تحمل‌پذیری و پایداری داخلی گیاه در مواجهه با تنش‌های محیطی است. بالا بودن محتوای نسبی آب برگ می‌تواند در تداوم رشد کلزا در شرایط کم آبی مؤثر باشد (۱۴ و ۳۰). یاداو و بوشان (۴۰) در بررسی تأثیر تنش خشکی بر رشد و عملکرد در ژنوتیپ‌های برنج نتیجه گرفتند، در زمان وقوع تنش خشکی میزان RWC کاهش یافته، که به‌طور مستقیم با فشار آماس و پتانسیل آبی در ارتباط است و ازطرفی فشار آماس در ارتباط مستقیم با توسعه و تقسیم سلولی است، بدین ترتیب ارتباط نزدیکی بین کاهش آب درون سلول و RWC و کاهش رشد و عملکرد وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات عدد SPAD و محتوای نسبی آب برگ (RWC) در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری در تاریخ‌های نمونه‌برداری

Table 2- Mean squares from analysis of variance (ANOVA) for SPAD and RWC of rapeseed cultivars under irrigation regimes at 7, 12 and 26 days after withheld irrigation

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		عدد SPAD (Days after withheld irrigation)			درصد رطوبت نسبی RWC (Days after withheld irrigation)		
		۷ روز 7 Days	۱۲ روز 12 Days	۲۶ روز 26 Days	۷ روز 7 Days	۱۲ روز 12 Days	۲۶ روز 26 Days
تکرار Replication	2	10.24 ns	1.85 ns	10.80 ns	0.92 ns	2.71 ns	2.72 ns
تنش خشکی Drought stress	1	733.72**	0.51 ns	463.76 **	583.12**	390.02**	672.04**
خطای اصلی Error A	2	28.24	48.17	1.46	11.53	14.74	12.68
ارقام Cultivar	3	128.32 ns	126.39 ns	91.72*	29.71**	33.89**	21.95**
Cultivar× Drought خشکی در ارقام	3	23.32 ns	79.4 ns	40.38 ns	9.6 ns	1.96 ns	12.71*
خطای فرعی Error B	10	67.92	62.31	15.83	3.35	2.35	3.05
ضریب تغییرات (٪) CV		19.12	16.53	8.18	2.35	1.97	2.24

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

** and *: significant at 1 and 5 percent, ns: no significant

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس هدایت روزنه‌ای در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری در تاریخ‌های نمونه‌برداری

Table 3- Mean squares from analysis of variance (ANOVA) for stomata conductance of rapeseed cultivars under irrigation regimes at 7, 12 and 26 days after withheld irrigation

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		هدایت روزنه‌ای (روز بعد از تنش آبیاری) Stomata conductance (Days after withheld irrigation)		
		۷ روز 7 days	۱۲ روز 12 days	۲۶روز 26 days
تکرار Replication	2	1641.50**	2396.45 ns	442.44 ns
تنش خشکی Drought stress	1	24512.04**	46358.46**	35597.10**
خطای اصلی Error A	2	92.16	2606.13	60577.78
رقم Cultivars	3	350.26*	6328.70*	586.92*
Cultivars× Drought	3	361.15*	7221.81*	792.92**
خطای فرعی Error B	10	80.33	1583.29	118.12
ضریب تغییرات (٪) CV		4.26	27.02	11.54

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

** and *: significant at 1 and 5 percent, ns: no significant

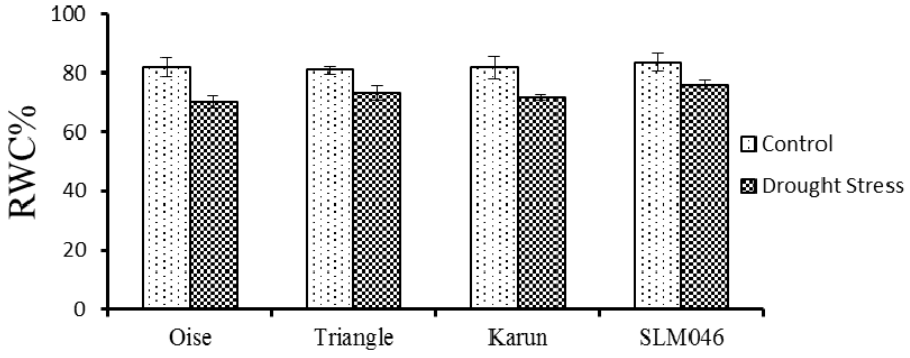
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات RWC، عدد SPAD، پرولین، قندهای محلول کل و MDA برگ کلزا در سطوح مختلف تنش کمبود آب

Table 4- Mean comparisons of RWC, SPAD, prolin, carbohydrate content and MDA of rapeseeds cultivars under irrigation regimes at 7, 12 and 26 days after withheld irrigation

تعداد روز پس از اعمال تنش خشکی Days after withheld irrigation	سطوح تنش Stress levels	درصد رطوبت نسبی RWC (٪)	عدد SPAD	پرولین (mmol.g^{-1}FW) Proline	قندهای محلول کل (mg g^{-1}FW) Carbohydrate	مالون دی آلدئید MDA (µmol g^{-1}FW)
۷ روز 7 days	تنش Stress	74.13	48.63	30.87	51.8	0.409
	شاهد Control	86.81	37.57	11.79	65.12	0.505
	LSD(0.05)	6.71	5.3	3.7	4.45	0.06
۱۲ روز 12 days	تنش Stress	75.6	47.8	36.66	69.05	0.45
	شاهد Control	88.5	47.6	8.4	57.19	0.516
	LSD (0.05)	3.61	1.43	2.1	4.97	0.04
۲۶ روز 26 days	تنش Stress	75.76	53.08	23.48	63.97	0.559
	شاهد Control	87.25	44.21	4.28	50.4	0.512
	LSD (0.05)	2.71	2.12	1.34	5.5	0.11



شکل ۱- اثرات متقابل تیمارهای خشکی و ارقام کلزا بر صفت RWC در برداشت سوم (٢٦ روز پس از تنش)

Figure 1- Means of comparison of RWC from interaction between irrigation regime and cultivars26 days after withheld irrigation

در واقع در زمان بروز تنش به دلیل کاهش آب درون سلول و کاهش RWC، فشار آماس کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، محتوای نسبی آب بیش‌تر باعث حفظ عملکرد در شرایط تنش می‌شود (۸).

هدایت روزنه‌ای

اثر اصلی و اثر متقابل تیمارها بر هدایت روزنه‌ای در هر سه مرحله نمونه‌برداری، معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین‌های صفت هدایت روزنه‌ای چهار رقم کلزای مورد مطالعه در تیمارهای خشکی نشان داد که رقم SLM046 بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای (۲۱۹/۳۳mmol/m^2.s) را در تیمار تنش ۷ روز دارا بود و کم‌ترین میزان این صفت (۸۱/۲mmol/m^2.s) در تیمار ۲۶ روز پس از اعمال تنش و در رقم Oise مشاهده شد (شکل ۲). رقمی که در شرایط تنش هدایت روزنه‌ای بالاتری داشت، از عملکرد بالاتری نیز برخوردار بود (شکل ۲ و ۵). لیو و استوتزل (۱۷)، شکوه فر و ابو فتیله نژاد (۳۷) و شهرابی فراهانی و همکاران (۳۶) نشان دادند که تیمارهای شاهد و تنش به‌ترتیب بیشترین و کم‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای را دارا بودند.

گیاه برای اجتناب از تنش و استفاده بهتر از مقدار آب محدودی که در اختیار دارد، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌کند تا از هدر روی آب جلوگیری شود، بنابراین با شروع دوره خشکی، تا مدتی گیاه تعرق و هدایت روزنه‌ای خود را در سطح حداکثر نگه‌می‌دارد، ولی با تداوم دوره خشکی، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌نماید (۴).

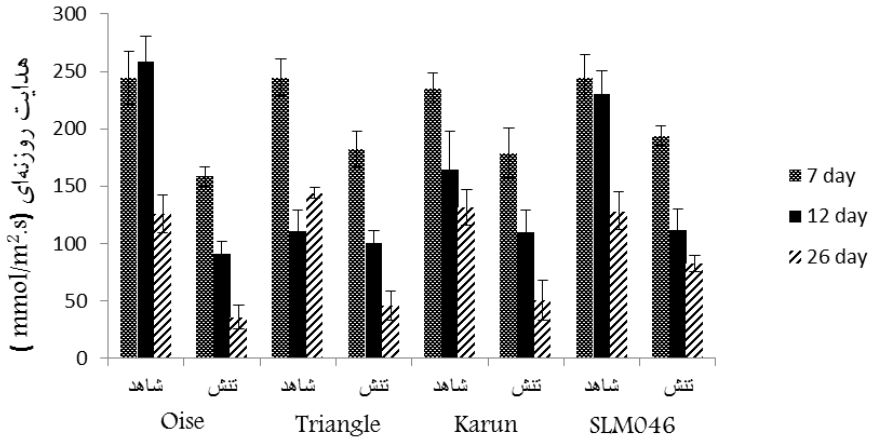
صفات بیوشیمیایی

پرولین

اثر اصلی و اثر متقابل عوامل آزمایشی بر محتوای پرولین برگ در هر سه مرحله نمونه‌برداری، معنی‌دار بود (جدول ۵).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- اثرات متقابل تیمارهای خشکی و ارقام کلزا بر صفت هدایت روزنه‌ای ۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش خشکی

Figure 2- Means of comparison of stomata conductance from interaction between irrigation regime and cultivars26 days after withheld irrigation

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس صفات پرولین و قندهای محلول کل در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری در تاریخ‌های نمونه‌برداری

Table 5- Mean squares from analysis of variance (ANOVA) for prolin and carbohydrate content of rapeseed cultivars under irrigation regimes at 7, 12 and 26 days after withheld irrigation

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square					
		پرولین Proline (Days after withheld irrigation)			قندهای محلول کل Soluble carbohydrate (Days after withheld irrigation)		
		۷ روز 7 days	۱۲ روز 12 days	۲۶روز 26 days	۷ روز 7 days	۱۲ روز 12 days	۲۶روز 26 days
Replication تکرار	2	0.084^{ns}	1.303^{ns}	0.05^{4ns}	62.81*	5.02^{ns}	6.76^{ns}
Drought stress تنش خشکی	1	6.709**	575.16**	785.69**	157.07**	442.2**	387.6**
Error A خطای اصلی	2	0.066	0.51	0.31	1.56	12.35	18.52
Cultivars رقم	3	0.515**	72.17**	41.33**	161.97**	97.78*	76.39**
Cultivars× Drought	3	0.402*	28.906**	49.82**	17.81^{ns}	14.49^{ns}	4235.45**
Error B خطای فرعی	10	0.073	0.38	0.53	90.09	20.85	37.18
CV ضریب تغییرات (٪)		14.48	7.84	9.12	10.22	9.56	10.33

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

** and *: significant at 1 and 5 percent, ns: no significant

به‌طور کلی، تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار محتوای پرولین در برگ‌های کلیه ارقام کلزا در مرحله شروع گل‌دهی شد، به‌طوری‌که در ۲۶ روز پس از اعمال تنش بیش‌ترین محتوای پرولین در رقم SLM046 و کم‌ترین آن در رقم Oise (به‌ترتیب ۱۱/۷۶ و ۶/۰۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد (جدول ۷). رقم SLM046 با تولید محتوای پرولین بالاتر در شرایط تنش خشکی و به تبع آن پتانسیل اسمزی بیش‌تر در این شرایط توانسته است عملکرد بالاتری تولید کند. یکی از اثرات اصلی تنش خشکی از دست دادن آب یاخته است. گیاهان از راه تجمع مواد محلول سازگار داخل یاخته از کاهش آب یاخته و آسیب پروتئین‌ها و غشای پلاسمایی جلوگیری می‌کنند. این مواد محلول هیچ محدودیتی را برای واکنش‌های داخل یاخته ایجاد نمی‌کنند (۱۸). تجمع این اسمولیت‌ها باعث تسهیل تنظیم اسمزی می‌شود. در زمان وقوع تنش کمبود آب، گیاه با جذب و ذخیره اسیدهای آمینه‌ای مثل پرولین در یاخته، باعث حفظ فشار آماس و ادامه رشد یاخته می‌شود (۲۷).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس صفت مالون دی‌آلدهید در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری در تاریخ‌های نمونه‌برداری
Table 6- Mean squares from analysis of variance (ANOVA) for MDA of rapeseed cultivars under irrigation regimes at 7, 12 and 26 days after withheld irrigation

Source of variation منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square		
		مالون دی‌آلدهید MDA (Days after withheld irrigation)		
		۷ روز 7 days	۱۲ روز 12 days	۲٦روز 26 days
Replication تکرار	2	0.016*	0.005ns	0.016ns
Drought stress تنش خشکی	1	0.212**	0.103*	0.041*
Error A خطای اصلی	2	0.002	0.01	0.016
Cultivars رقم	3	0.063**	0.022*	0.049**
Cultivars× Drought	3	0.015**	0.005ns	0.001ns
Error B خطای فرعی	10	0.002	0.005	0.007
CVضریب تغییرات (٪)		5.18	9.48	10.37

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

** and *: significant at 1 and 5 percent, ns: no significant

قندهای محلول کل

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های قندهای محلول کل نشان داد که اثر سطوح تنش خشکی بر قندهای محلول کل در ۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر ارقام نیز در ۷ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش در ۱ درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند، ولی اثر متقابل خشکی ×رقم فقط در ۲۶ روز پس از اعمال تنش معنی‌دار شد (جدول ۵). حداقل میزان قندهای محلول کل در تیمار شاهد و در رقم Triangle و بیش‌ترین میزان آن در رقم Oise و در شرایط تنش مشاهده شد (شکل ۳). همچنین با افزایش تنش خشکی میزان قندهای کل محلول در هر چهار رقم کلزا افزایش یافت، که نتایج به‌دست آمده منطبق بر نتایج کیشور و همکاران (۱۳) بود. مطالعات زیادی افزایش تجمع قندهای محلول در واکنش به تنش خشکی را تأیید می‌کنند، به نظر می‌رسد که در اثر تنش خشکی فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز افزایش می‌یابد، در این شرایط افزایش هیدرولیز نشاسته سبب افزایش غلظت قندهای کل محلول می‌شود (۳۵). کربوهیدرات‌ها تحت شرایط تنش در گیاه افزایش می‌یابند و نقش اصلی آن‌ها در تنظیم و حفاظت اسمزی و ذخیره کربن است که در شرایط تنش میزان تجمع قندهای محلول در برگ افزایش می‌یابد (۳). یکی از وظایف اصلی قندها شرکت در متابولیسم گیاه است، به علاوه قندها می‌توانند به‌عنوان یک سیستم دفاعی در زمان وقوع تنش، فشار آماس را در سطح بالایی نگه دارند (۱۳).

مالون دی‌آلدهید[1]

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مالون دی‌آلدهید نشان داد که اثر متقابل خشکی ×رقم فقط در ۷ روز پس از اعمال تنش و در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در تنش خشکی مقدار مالون دی‌آلدهید در هر چهار ژنوتیپ کلزا افزایش یافت (شکل ۴)، که با نتایج آزمایشات یانگ و همکاران (۴۱) مطابقت داشت. پراکسیداسیون چربی‌ها نمایانگر تنش‌های اکسیداتیو در گیاهان است و منجر به تخریب غشاهای بیولوژیکی می‌شود. میزان پراکسیداسیون لیپیدها را از روی محصولی که از شکست ثانویه لیپید هیدروپراکسیدهای اولیه ناشی می‌شود، تعیین می‌کنند. در اثر تخریب پراکسیدهای اسیدهای چرب اشباع نشده مالون‌دی‌آلدهید (MDA) به‌وجود می‌آید که به‌عنوان یک نشانگر زیستی برای تشخیص مقدار صدمات اکسیداتیو لیپیدها به‌کار می‌رود و مقدارش بسته به نوع تنش و شدت آن متفاوت می‌باشد (۱۱).

بیش‌ترین مقدار مالون دی‌آلدهید در تیمار ۲۶ روز پس از اعمال تنش (۱/۱۵ $\mu mol\ g^{-1}.FW$) در رقم Oise بود و کم‌ترین مقدار آن نیز در تیمار ۷ روز پس از اعمال تنش (۰/۶۹۵$\mu mol\ g^{-1}.FW$) در رقم SLM046 مشاهده شد (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد که به‌دلیل

1- MDA

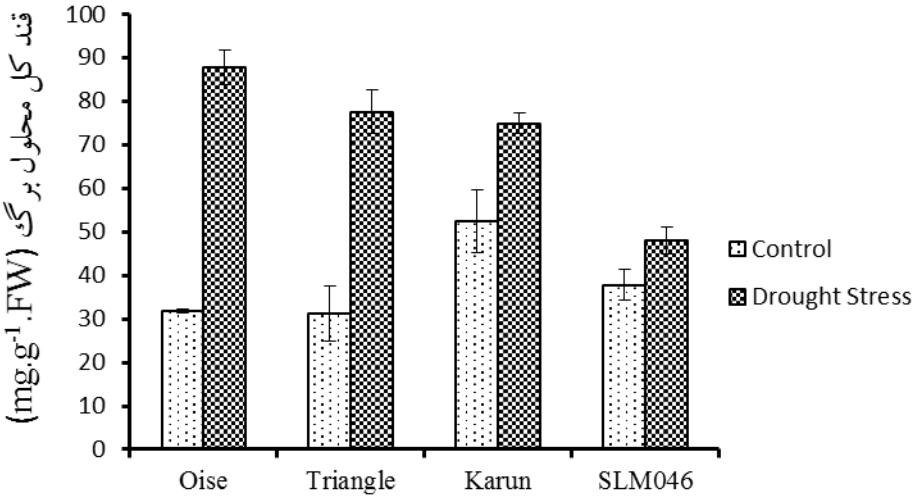
www.SID.ir

Archive of SID

حساسیت بالای رقم Oise میزان تخریب و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی در این رقم بیش‌تر از سایر ارقام بود و رقم SLM046 به‌دلیل پایداری بیش‌تر در مقابل تنش میزان آسیب به لیپیدهای غشایی خود را در حد پایینی نگه داشته بود.

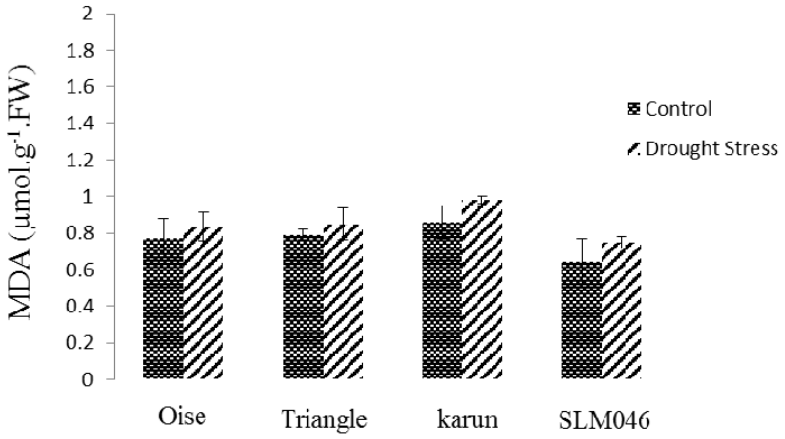
عملکرد و صفات وابسته به آن

تجزیه واریانس داده‌های عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که ارقام مختلف کلزا از نظر صفات تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار نشان دادند و اثر متقابل خشکی ×رقم فقط بر روی صفات وزن هزاردانه و عملکرد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۸).



شکل ۳- اثرات متقابل تیمارهای خشکی (تنش و شاهد) و ارقام کلزا (Oise، Triangle، Karun و SLM046) درصفت قندهای محلول کل در برداشت سوم (۲۶ روز پس از تنش)

Figure 3- Means of comparison of total carbohydrate from interaction between irrigation regime (stress and control) and cultivars (Oise ،Triangle،Karun وSLM046) 26 days after withheld irrigation



شکل ٤- نمودار اثرات متقابل تیمارهای خشکی و ارقام کلزا در صفت مالون دی‌آلدهید در برداشت اول (۷ روز پس از تنش)

Figure 4- Means of comparison of MDA from interaction between irrigation regime and cultivars7 days after withheld irrigation

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات پرولین و مالون دی آلدهید برگ ارقام کلزا در برداشت‌های ۷، ۱۲ و ۲۶ روز پس از اعمال تنش خشکی

Table 7- Means of comparison of prolin and MDA from leaf of rapeseeds cultivarsunder irrigation regimes at 7, 12 and 26 days after withheld irrigation

تعداد روز پس از اعمال تنش خشکی Days after withheld irrigation	ارقام Cultivars	پرولین Proline (mmol.g^{-1}.FW)	مالون دی آلدئید MDA (µmol.g^{-1}.FW)
۷ روز 7 Days	Oise	1.56	0.8
	Triangle	2.19	0.813
	Karun	1.7	0.919
	SLM046	2.03	0.69
	LSD (0.05)	0.33	0.11
۱۲ روز 12 Days	Oise	5.63	0.88
	Triangle	5.83	0.77
	Karun	7.03	0.803
	SLM046	12.99	0.695
	LSD (0.05)	0.93	0.109
۲۶ روز 26 Days	Oise	6.01	1.15
	Triangle	6.4	0.77
	Karun	7.96	0.95
	SLM046	11.76	1.03
	LSD (0.05)	1.26	0.14

جدول ۸- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای آن در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری در تاریخ‌های نمونه‌برداری

Table 8 - Mean squares from analysis of variance (ANOVA) for Yield and yield components of rapeseed cultivars under irrigation regimes at 7, 12 and 26 days after withheld irrigation

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
		تعداد دانه در غلاف Number of grains per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	وزن هزار دانه (گرم) Weight of 1000 grain	عملکرد Yield (kg ha^{-1})
تکرار Replication	2	1.89^{ns}	312.54^{ns}	0.001^{ns}	10038.53^{ns}
تنش خشکی Drought stress	1	216**	4902.04**	0.01^{ns}	12664929.31**
خطای اصلی Error A	2	0.11	464.04	0.08	49024.41
رقم Cultivars	3	50.82**	9507.93**	0.31**	215317.10**
Cultivars× Drought	3	8.68^{ns}	2002.37 ^{ns}	0.36 **	331762.12 **
خطای فرعی Error B	10	2.58	920.6	0.01	27375.36
ضریب تغییرات (٪)CV	-	6.8	11.67	3.04	7.05

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و ns غیرمعنی‌دار

** and *: significant at 1 and 5 percent, ns: no significant

www.SID.ir

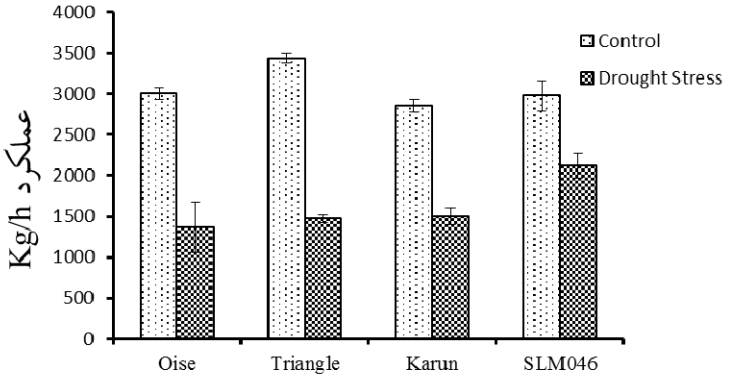
Archive of SID

جدول مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که ارقام SLM046 و Triangle به‌ترتیب در مقایسه با دو رقم دیگر از عملکرد دانه بالاتری برخوردار بودند. در این بررسی رقم SLM046 از نظر تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه به‌ترتیب بر ارقام Triangle و Oise برتری داشت (جدول ۹).

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای آن در ارقام کلزا در تیمارهای آبیاری
Table 9- Means of comparison of yield and yield component of rapeseeds cultivars under irrigation regimes

ارقام Cultivars	تعداد دانه در غلاف Number of grains per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	وزن هزار دانه (گرم) Weight of 1000 grain	عملکرد Yield (kg ha^{-1})
Oise	19.75	230.67	3.44	2190.25
Triangle	26.75	261.17	3.76	2456.22
Karun	23.55	231.5	3.99	2177.78
SLM 046	24.41	315.5	3.79	2553.28
LSD (0.05)	2.05	47.6	0.18	260.7

رقم SLM046 بالاترین و رقم Karun نیز کم‌ترین عملکرد (به‌ترتیب ۲۵۵۳/۲۸ و ۲۱۷۷/۷۸ کیلوگرم در هکتار)، را در شرایط تنش به‌خود اختصاص دادند، به نظر می‌رسد محتوای نسبی آب بالاتر و هدایت روزنه‌ای بالاتر رقم SLM046 دلیل بالاتر بودن عملکرد این رقم در شرایط تنش باشد. باتوجه به شکل ۵ مشخص است که تحت شرایط تنش عملکرد همه ارقام کلزا کاهش یافت ولی میزان کاهش این صفت در رقم SLM046 نسبت به سه رقم دیگر کم‌تر بود که می‌تواند بیانگر متحمل بودن این رقم نسبت به سایر ارقام و پایداری تولید آن در شرایط تنش خشکی باشد (شکل ۵). در شرایط آبیاری نرمال، ژنوتیپ‌های Triangle و SLM046 از نظر مقدار عملکرد در یک گروه قرار گرفتند و عملکرد Triangle بالاتر از ژنوتیپ SLM046 بود ولی در شرایط تنش عملکرد هر دو ژنوتیپ کاهش یافت در حالی‌که عملکرد بالاتری در ژنوتیپ SLM046 مشاهده شد.



شکل ۵- عملکرد دانه ارقام کلزا (Oise، Triangle، Karun و SLM046) در شرایط تنش و عدم تنش خشکی
Figure 5- Means of comparison of seed yield of rapeseeds cultivarsunder irrigation regimes

www.SID.ir

Archive of SID

تنش کمبود آب در کلزا باعث کاهش عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف می‌شود (۲۸). جنسن و همکاران (۱۲) نشان دادند که کمبود آب در مرحله گل‌دهی کلزا بر وزن دانه اثر معنی‌دار نداشت. تعداد دانه در غلاف به‌طور متوسط از ظرفیتی نزدیک به ۳۰ تخمک در زمان گل‌دهی برخوردار است ولی تعداد آن‌ها همواره از مقدار مذکور کم‌تر است، زیرا عواملی مانند کمبود آب، شوری، فشار اسمزی و دیگر عوامل محیطی در کاهش تعداد دانه در غلاف مؤثر است (۲۰). نتایج نصری و همکاران (۲۳) نیز نشان داد که ارقام کلزا از نظر عملکرد و اجزای عملکرد دانه تفاوت‌های معنی‌داری داشتند. تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه از اجزای مهم عملکرد دانه بودند که با نتایج تحقیقات تیلور و اسمیت (۳۹) مطابقت داشت. اگرچه وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه کلزا، موجب کاهش اکثر صفات وابسته به عملکرد، به‌ویژه تعداد غلاف‌ها و تعداد دانه‌ها می‌شود (۱۲)، ولی در این تحقیق ارقام Triangle، Karun و Oise تحت شرایط تنش از نظر تعداد غلاف در بوته تفاوت معنی‌داری نداشتند و با توجه به‌وجود سازوکار جبرانی بین اجزاء عملکرد دانه در کلزا، رقم Triangle تعداد دانه بیش‌تری در هر غلاف داشت لذا بدین ترتیب عملکرد دانه بیشتری نسبت به Karun و Oise تولید کرد (جدول ۹).

نتیجه‌گیری

بروز تنش خشکی در مراحل گل‌دهی، تشکیل و پر شدن غلاف‌ها سبب کاهش تعداد دانه در غلاف و درنهایت افت عملکرد شد. نتایج نشان داد در بین ارقام مورد بررسی از نظر صفات عملکرد، وزن هزاردانه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، پرولین و قندهای محلول کل تفاوت قابل توجه وجود داشت و این صفات تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. افزایش اسمولیت‌های قند و پرولین داخل سلول باعث کاهش پتانسیل آب سلول شده در نتیجه از کاهش آب داخل سلول جلوگیری می‌کنند. واکنش ارقام مختلف نسبت به تنش خشکی متفاوت بود، رقم SLM046 در شرایط بدون تنش خشکی (تیمار شاهد)، بیش‌ترین مقدار عملکرد و محتوای نسبی آب برگ را به‌خود اختصاص داد و در تحمل تنش خشکی بهتر از سایر ارقام بود. به نظر می‌رسد رقمی که محتوای نسبی آب بالاتری دارد از میزان عملکرد بالاتری نیز برخوردار می‌باشد که می‌تواند دلیلی بر متحمل بودن آن رقم باشد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که با توجه به گسترش روز افزون کم آبی و نیاز شدید کشور به فرآورده‌های روغنی، استفاده از این ارقام توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت‌های مالی (شماره: ۹۱۰۰۵-۹۱۵۲-۰۵-۰۵-۱۴۷) پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران انجام شده است. از جناب آقای دکتر امیر حسین شیرانی راد استاد پژوهشی بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به جهت راهنمایی‌های ارزنده در مراحل اجرای این تحقیق و همچنین از جناب آقای دکتر سید علی طباطبائی، صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

1. Alyari, H., and Shekari, F. 2000. Oil seeds. Agriculture and Physiology. Amidi Publisher. Tabriz.
2. Bates, C. J., Waldern, R. P., and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
3. Cechin, I., Rossi, S., Oliveira, V., and Fumis, T. 2006. Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. Photosynthetica 44: 143-146.
4. Champolivier, I., and Merrien, A. 1996. Effects of water stress applied at different growth stages of *Brassica napus* L. var. *oleifera* on yield, yield components and seed quality. European Journal of Agronomy 5: 153-160.
5. Chaves, M. M., Flexas, J., and Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-560.
6. Dehshiri, A. 1999. Canola Agriculture. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Agricultural Research and Education Organization.
7. FAO. 2010. Food Outlook Global Market Analysis. http://www.Fao.org.
8. Farooq, M., Basra, S. M. A., Wahid, A., Ahmad, N., and Saleem, B. A. 2009. Improving the drought tolerance in rice *Oryza sativa* L. by exogenous application of salicylic acid. Agronomy and Crop Science 195: 237-246.
9. Ghamarnia, H., and Gowing, J. W. 2005. Effect of water stress on three wheat cultivars. ICID 21st European Regional Conference, 15-19 May, 2005 Frankfurt (Oder) and Slubica, Germany and Poland.
10. Heath, R. L., and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast, kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.
11. Hosseini, P. 2007. Study the physiological effects of cold stress at seedling stage in rice genotypes. Ph.D thesis. Crop Physiology. Faculty of Agriculture. University of Shahid Chamran, Ahvaz. (in Persian with English abstract).
12. Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Fieldsend, J. K., Milford, G. F. J., Andersen, M. N., and Thage, J.

www.SID.ir

Archive of SID

H. 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field grown rape *Brassica napus* L. affected by soil drying evaporation demand. Field Crop Researches 47: 93-105.
13. Kishor, P. B. K., Sangama, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. R. S. S., Rao, S., Reddy, K. J., Theriappan, P., and Sreenivasulu, N. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current sciences 88: 424-438.
14. Kumar, A., and Singh, D. P. 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed Brassica species. Annual of Botany 81: 413-420.
15. Liang, C. H., and Feng, R. 2010. Identification and expression analysis of genes in response to high-salinity and drought stresses in *Brassica napus* L., Acta Biochimica et Biophysica Sinica 42: 154-164.
16. Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., and Ding, R. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeumvulgare* L.). Plant Physiology 160: 1157-1164.
17. Liu, F., and Stützel1, H. 2002. Leaf Expansion, Stomatal Conductance, and Transpiration of Vegetable Amaranth (*Amaranthus* sp.) in Response to Soil Drying. Journal of American Society of Horticultural Science 127 (5): 878-883.
18. Mahajan, M. A., and Samuels, H. H. 2005. Nuclear hormone receptor coregulator role in hormone action, metabolism, growth, and development. Endocrine reviews 26: 583-597.
19. MarjanovicJeromela, A., Marinkovic, R., Mijic, A., Zdunic, Z., Ivanovska, S., and Jankulovska, M. 2008. Correlation and path analysis of quantitative traits in winter rapeseed *Brassica napus* L. Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS) 73: 13-18.
20. Mendham, N., Salisbury, P., Kimber, D., and McGregor, D. 1995. Physiology crop development, Growth and yield, in Brassica Oilseed: Prodution and Utilization, CAB International, Wallingford, Oxon. PP: 11-67.
21. Mujdeci, M., Senol, H., Cakmakci, T., and Celikok, P. 2011. The effects of different soil water matric suctions on stomatal resistance. Food Agriculture and Environment 9: 1027-1029.
22. Naseri, F. 1991. Oil Seeds. AstaneGhods Publisher. (in Persian).
23. Nasri, M., Khalatbari, M., Zahedi, H., Paknejad, F., and TohidiMoghadam, H. R. 2008. Evaluation of micro and macro elements in drought stress condition in cultivars of rapeseed *Brassica napus* L. American journal of Agricultural and Biological Science 3: 579-583.
24. Nielsen, D. C. 1997. Water use and yield of canola under dry land condition in the Central Great Plains. Production Agriculture 10: 303-313.
25. Omae H., Kumar A., Kashiviba, K., and Shono, M. 2007. Assessing drought tolerance of Snap bean *Phaseolus vulgaris* L. from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. Plant Production Science 10: 28-35.
26. Paseban-Islam, B., Shakiba, M. R., Neyshabouri, M. R., Moghaddam, M., and Ahmadi, M. R. 2000. Evaluation of physiological indices as screening technique for drought resistance in oilseed rape. Proceeding Pakistan Academic of Science 37: 143-152.
27. Patakas, A., Nikolaou, N., Zioziou, E., Radoglou, K., and Noitsakis, B. 2002. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. Plant Science 163: 361-367.
28. Rao, I. M., Sharp, R. E., and Boyer, J. S. 1987. Leaf magnesium alters photosynthetic response to low water potentials in sunflower. Plant Physiology 84: 1214-1219.
29. Rao, M. S. S., and Mendham, N. J. 1991. Soil plant water relations of oilseed rape *Brassica napus* L. and *B. campestris* L. Agriculture Sciences117: 197-205.
30. Rashidi, S. H., Shirani Rad, A. M., Ayene Band, A., Javidfar, F., and Lak, S. H. 2012. Study of relationship between drought stress tolerances with some physiological parameters in canola genotypes *Brassica napus* L. Annals of Biological Research 3: 564-569.
31. Rezaei, V. 2004. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Plant Protection Organization. Pest of Canola.
32. Robertson, M. J., and Holland, J. F. 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. Australian Journal of Agricultural Research 55: 525-538.
33. Sana, M., Ali, A., Malik, M. A., Saleem, M. F., and Rafiq, M. 2003. Comparative yield potential and pil content of different canola cultivars *Brassica napus* L. Proceeding. Pakistan Journal of Agronomy 2: 1-7.
34. Schlegel, H. G. 1956. Die VerwertungorganischerSäurendurch Chlorella imLicht. Planta. 47: 510-526.
35. Setter, T. L., Brain, A., Flannigan, B. A., and Melkonian, J. 2001. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize Carbohydrate supplies abscise acid and cytokinins. Crop Science 41: 1530-1540.
36. Shahrabi, B., Farahmandfar, E., Hassanloo, T., Shirani Rad, A. H., and Tabatabaee, S. A. 2013. Evaluation of drought tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties based on physiologic and agronomic characters. Electronic Journal of Crop Production 6 (4): 77-92.
37. Shokuhfar, A., Abufitilehnejad, S. 2013. The effect of drought stress on the physiological characteristics and agricultural biomass of the different varieties of *Vignaradiata* in Dezful. Crop Physiology Journal 17: 49- 59. (in Persian with English abstract).

www.SID.ir

Archive of SID

38. Takeda, S., and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement responding to environmental and population change. Nature Reviews Genetics 9: 444-457.
39. Taylor, A. J., and Smith, C. J. 1992. Effect of sowing date and seeding rate on yield and yield Components of irrigated Canola *Brassica napus* L. grown on a red–brown earth in south eastern Australia. Crop and Pasture Science 43: 1629-1641.
40. Yadav, R. S., and Bhushan, C. H. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotypes. Indian journal of Agricultural Research 35: 104-107.
41. Yang, Y., Liu, Q., Wang, G. X., Wang, X. D., and Guo, J. Y. 2010. Germination osmotic adjustment and antioxidant enzyme activities of gibberellin pretreated *Piceaasperata* L. seeds under water stress. New Forest 39: 231-243.
42. Zhang, X., Fan, X., Li, C. H., and Nan, Z. H. 2010. Effects of cadmium stress onseed germination seedling growth and antioxidative enzymes in Achnatheruminebrians plants infected with a Neotyphodiumendophyte. Plant Growth Regulation 60: 91-97.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 583-597

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۵۹۷-۵۸۳

Evaluation of Physiological and Biochemical Characteristics of Four Canola (*Brassica napus* L.) Cultivars in drought condition

A. Jamshidi Zinab[1]- T. Hasanloo[2*]- A. M. Naji[3]

Received: 01-12-2013
Accepted: 21-04-2015

Introduction

Rapeseed (*Brassica napus* L.) is one of the major crops cultivated mainly for oil, human consumption and renewable fuel all over the world. Drought stress is one of the most important abiotic factors which adversely affect growth, metabolism and yield of crops in semiarid and arid area. Drought stress during any particular growth stage of crops causes yield reduction. In order to evaluate the effect of drought stress on yield, physiological, morphological and biochemical characteristics of rapeseed in flowering stage, this field experiment was carried out in Yazd agricultural research institute during 2011-2012.

Materials and Methods

The experiment was conducted in split-plot design based on randomized complete blocks with three replications imposed. Irrigation was considered as the main plot at two levels including control (irrigation after 80 mm evaporation from class A pan) and stress in the anthesis stage (irrigation after 160 mm evaporation from class A pan) and cultivars (Oise, Triangle, Karun and SLM046) were considered as sub plots. Sampling was carried out 7, 12 and 26 days after drought stress imposed. In each plot, 7, 12 and 26 days after stop irrigation from flowering stage (drought stress treatment), 4-5 expanded leaves from above of canopy were harvested. Relative water content of leaves and stomatal conductance were recorded. Soluble carbohydrate and proline content were measured. The lipid peroxidation level of the leaves was determined by measuring the content of malondealdehyde. Yield and yield components (number of grains per pod, number of pod per plant and weight of 1000 grains) were recorded at maturity.

Results and Discussion

The results showed that drought and cultivar interaction on SPAD value was not significant after stress. The interaction of the drought on leaf relative water content was significant at 26 days after the stress. The results revealed that, drought stress led to a significant decrease in relative water content of leaves and stomata conductance in all cultivars. However, soluble carbohydrates and proline were increased after stress application. The interaction of drought on soluble carbohydrate was significant at 26 days after the stress.

Interaction of treatments on leaf proline content in each sampling period was significant. The highest content of proline was observed in SLM046 (11.76 mM g^{-1} fresh weight) and the lowest proline content was observed in Oise cultivar (6.01 mM g^{-1} fresh weight). MDA content was increased in stress conditions. The highest MDA content was observed in Oise cultivar (1.15 µM g^{-1} fresh weight) 26 days after the stress and the lowest MDA observed in SLM046 cultivar (0.695 µM g^{-1} fresh weight) 7days after the stress. Analysis of variance for yield and yield components under irrigation regimes showed that, interaction of treatments on grain yield and weight of 1000 grains was significant. Triangle and SLM046 cultivars had higher grain yield in compare to the other cultivars. SLM046 exhibited the highest stress tolerance and also contained the highest yield, grain weight, number of pod per plant, relative water content and stomata conductance among all the cultivars. In addition, the highest and the lowest yield were observed in cultivars SLM046 and Karun (2553and 2178 kg ha^{-1}, respectively), following stress application. Water deficit stress on canola decreased the number of pods per plant and the number of grains per pod.

1- M.Sc. Student of Agricultural Biotechnology, Department of Agricultural Biotechnology, University of Shahed, Tehran, Iran
2- Assistant Prof., Department of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran
3- Assistant Prof., Agricultural Biotechnology, Department of Agricultural Biotechnology, University of Shahed, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: thasanloo@abrii.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

Conclusions

Occurrence of drought stress during flowering reduced the number of grains per pod and canola yield. The results showed that, there was significant difference between cultivars for crop yield, weight of thousands grains, relative water content, stomata conductance, proline and carbohydrate content. Increased carbohydrate and proline content as osmolites caused lower cell water potential. The cultivars had different response to drought stress and the the highest yield and RWC were observed in SLM046 cultivar. Sugar and proline in the cell, the cell water potential decreased. The drought tolerance of SLM046 was better than other cultivars and had the highest yield and Relative water content.

Keywords: MDA, Proline, RWC, Soluble carbohydrate, Yield

www.SID.ir