تأثیر پاکلوبوترازول بر دمای سطح سایه‌انداز و برخی ویژگی‌های کمّی و کیفی دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در رژیم‌های متفاوت آبیاری

ظهراب اداوی[۱*]، کمال‌سادات اسیلان[۲] و ابوالفضل باغبانی آرانی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۶)

چکیده

یکی از راه‌های جلوگیری از کاهش عملکرد کلزا در شرایط محدودیت رطوبت استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد است. به‌منظور بررسی تأثیر پاکلوبوترازول (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر دمای سطح سایه‌انداز و برخی ویژگی‌های کمّی و کیفی دو رقم کلزا (اوکاپی و ناتالی) تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی انتهای فصل، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور فریدونشهر، در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ طراحی و اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خردشده، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. نتایج نشان داد که همه فاکتورهای مورد بررسی (تنش خشکی آخر فصل، رقم و پاکلوبوترازول) بر طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و دمای کانوپی اثر معنی‌داری داشتند. هر دو رقم مورد استفاده در این پژوهش نسبت به تنش خشکی در زمان گلدهی بسیار حساس بوده به‌طوری که تنش خشکی باعث کاهش ۴۰ درصدی عملکرد در هر دو رقم شد. در هر دو رقم در شرایط آبیاری مطلوب تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در شرایط تنش تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول بیشترین میزان عملکرد را در گیاه کلزا تولید کردند. هر دو رقم پاسخ مشابهی نسبت به تنش خشکی و پاکلوبوترازول داشتند، ولی به‌طور کلی رقم ناتالی عملکرد بالاتری (۵۳۴۶ کیلوگرم در هکتار) را نسبت به رقم اوکاپی (۴۹۱۰ کیلوگرم در هکتار) تولید کرد. همچنین در هر دو رقم دمای سطح کانوپی گیاه نیز تحت تأثیر پاکلوبوترازول در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. با توجه به نتایج به‌دست آمده اگرچه تنش خشکی موجب کاهش عملکرد شد، لیکن، تأثیر تنظیم‌کننده رشد توانست بخشی از کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی را جبران کند. بنابراین، استفاده از پاکلوبوترازول به‌عنوان راهی قابل دسترس برای افزایش تحمل به شرایط تنش خشکی قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: قطع آبیاری، تنظیم‌کننده رشد، دمای سطح سایه‌انداز، کلزا، عملکرد

۱، ۲ و ۳. به ترتیب استادیار، دانشیار و استادیار دانشگاه پیام نور، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: z_adavi@pnu.ac.ir

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخـــایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این گیاهـان زراعـی علاوه بر ذخایر غنی اسید چرب، حاوی پـــروتئین نیز هســـتند. کلزا بـــه‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی از نظـر غـذایی و اقتصـادی در ســطح جهان مطرح است (۳۹). در سال ۱۳۹۷ سطح زیر کشت کلزا در ایران ۷۰۴۴۴ هکتار و در جهان ۴۲/۲۰۲/۸۲۴ هکتار بوده که در حال افزایش است (۱۳). کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر حدود یک سوم میزان نـزولات سـالانه جهـانی را داشـته و دارای اقلـیم خشـک و نیمـه‌خشـک اسـت (۴۰). خشکسالی و تنش ناشـی از آن مهـم‌تـرین و رایـج‌تـرین تـنش محیطی است که هر سـاله خسـارت‌هـای هنگفتـی بـه گیاهـان مختلف زراعی در جهان به‌ویژه ایران (به‌عنوان کشوری خشـک و نیمـه‌خشـک) وارد مـی‌کنـد (۴ و ۳۶). تـــنش کم‌آبـــی طـولانی‌مـدت بـر تمـام فرایندهـای سـوخت‌وسـازی گیـاه اثـر می‌گذارد و درنتیجه اغلب موجـب کـاهش عملکـرد دانـه گیـاه می‌شود (۴ و ۳۲). در پژوهشی در منطقـه اردبیـل بـا تیمارهـای آبیاری در سه سطح (قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گلدهی و تشکیل خورجین، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله تشکیل دانـه و آبیاری کامل) گزارش شد محدودیت آبـی در کلـزا، عملکـرد دانه، عملکرد کوانتومی، هدایت روزنـه‌ای، محتـوای کلروفیـل و مقادیر لینولئیک، اولئیک، ایکوزنوئیـک و پالمیتولئیـک اسـید را کـاهش و محتـوای اروسیک اسید، آراشیدیک اسید و پرولین را افـزایش داد و قطـع آبیـاری در مرحلـه گلدهـــی و تشـــکیل خـورجین و مرحلـه تشکیل دانه به‌ترتیب عملکرد دانـه را ۴۶ و ۴۰/۴ درصد کـاهش داد (۴۸).

در سال‌های گذشته به موازات برنامـه‌هـای بـه‌نـژادی بـرای بهبـــود ژنتیکـــی عملکـــرد در شـــرایط کمبـــود آب، کـــاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد تریازول‌ها بـه‌عنـوان یـک گزینـه جانشـین کاهش خسارت ناشی از این تنش در گیاهـان زراعـی از جملـه غلات (۷)، آفتابگردان (۳۲) و کلزا (۴۰ و ۴۵) مورد توجه قـرار گرفته است. استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیـاه روشـی بـرای مقابله و سازگاری برای تحمل تنش آبی است. یکـی از راه‌هـای رفع تنش آب، استفاده از مواردی است که عملکـرد گیـاه را در شرایط تنش بهبود می‌بخشد (۴). در دهـه ۱۹۶۰ از تریـازول‌هـا (ماننـــد هگزاکونـــازول، پروپیکونـــازول، تریـــادیمفون و پاکلوبوترازول) برای کنترل بیمـاری‌هـای قـارچی در گیاهـان و حیوانات استفاده شد. این مواد از طریـق واکـنش‌هـای مختلـف فیزیولوژیکی، مقاومت در برابر انواع مختلف تنش‌های غیرزنـده را در گیاهان القا می‌کننـد. کـاهش ارتفـاع، افـزایش کوتیکـول، توسـعه کلروپلاسـت و رشـد ریشـه تغییـرات مورفولـوژیکی و آناتومیکی قابل اندازه‌گیری ناشـی از تریـازول‌هـا هسـتند (۳۲). یکی از اثرات سودمند پاکلوبوترازول به‌عنوان بازدارنـده رشـدی این است که مواد یاد شده می‌توانـد در مراحـل متعـدد بیوسـنتز جیبرلین و استرول ایجاد اختلال کند (۴۱). در پژوهشی گزارش شـد کـه پـاکلوبوترازول در تمـام سـطوح، میـزان پارامترهـای مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچـه‌هـای کلـزا را در وضـعیت تنش و در حالت عادی به مقـدار زیـادی افـزایش داد. بنـابراین تیمار پاکلوبوترازول در گیاهچه‌های کلزای تحت تـنش شـوری باعث بهبود علائم تنش و آسیب‌هـای ناشـی از شـوری در ایـن گیاهچه‌ها شد (۳۹). تـأثیر پـاکلوبوترازول بـه‌عنـوان یـک مـاده ضدتعرق بر روابط آبی و تغییرات فیزیولـوژیکی و بیوشـیمیایی گیاه ثابت شده است (۴۰ و ۴۵). پژوهش‌ها نشان داده است این مواد قادر به افزایش تحمل بسیاری از گونـه‌هـای تـک‌لپـه‌ای و دولپه‌ای و همچنین مخروطیان، بـه انـواع تـنش‌هـای زیسـتی و غیرزیستی، مانند بیمارگرهای قارچی، تنش خشکی، آلاینده‌های هوا و شرایط نامساعد مربوط بـه دماهـای پـایین و بـالا هسـتند (۲۹). از این‌رو، به آنها محافظت‌کننده‌های چنـدمنظـوره گیـاهی نیز می‌گویند (۳۷). در بررسی اثر مقادیر مختلف پـاکلوبوترازول بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان مشاهده شد اگرچه تـنش خشکی باعث ایجاد اثرات سوئی بر رشد و عملکرد گندم شـده است ولی استفاده از پاکلوبوترازول توانسته بخشـی از خسـارت تنش را جبران کند که با افـزایش میـزان غلظـت محلـول‌پاشـی، عملکرد دانه افزایش یافت (۹). در پژوهشی دیگر گـزارش شـد

استفاده از کندکننده‌ها، رشد رویشی را کاهش و رشد زایشی را تسریع می‌کنند که غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پروهگزادیون کلسیم و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول مؤثرترین تیمار در افزایش رشد زایشی در توت فرنگی شد (۱۰).

زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق و محدودیت منابع آب در اثر خشکسالی‌های مکرر، سبب کاهش طول دوره رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود و این امر لزوم توجه بیشتر به مطالعه در مورد اثر تنش خشکی و انتخاب ارقام مقاوم و مصرف کارآمد آب را طلب می‌کند (۲۰ و ۴۲).

از طرف دیگر خشکسالی، سبب افزایش محدودیت دسترسی به آب و به‌دنبال آن کاهش رطوبت نسبی برگ و افزایش درجه حرارت داخل سایه‌انداز گیاه شد. به‌طور کلی بین رطوبت خاک و دمای سایه‌انداز گیاهی همبستگی منفی وجود دارد، به‌طوری که با کاهش رطوبت در خاک، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و روزنه‌ها بسته می‌شوند و این امر کاهش تعرق و افزایش دمای سایه‌انداز را موجب می‌شود (۱۴). در مطالعه‌ای روی برنج مشخص شد که میزان آب موجود در خاک بر دمای سطح سایه‌انداز گیاهی تأثیرگذار است و با افزایش میزان آب در خاک دمای سطح سایه‌انداز کاهش می‌یابد (۴۹). مشخص شده ارقام گندم با دمای پایین‌تر سایه‌انداز گیاهی در نیم‌روز، از وضعیت آبی بهتری برخوردارند و همچنین ارقامی که دمای سایه‌انداز آنها در شرایط آبیاری کمتر است به‌طور قابل ملاحظه‌ای آب کمتری مصرف کرده و هدایت روزنه‌ای پایین‌تری خواهند داشت (۸). ویژون و ملکسلام (۴۸) در پژوهشی اثر پونیکونازل را بر دمای سایه‌انداز گیاهی مورد بررسی قرار دادند آنها گزارش کردند که پونیکونازل دمای سایه‌انداز نهایی را به‌میزان قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد در گیاه کلزا کاهش داد.

این پژوهش با هدف مطالعهٔ تأثیر کاربرد تنظیم‌کننده رشد پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه و اجزای آن و دمای سطح سایه‌انداز دو رقم کلزا در شرایط تنش کم‌آبی و بررسی نحوه تأثیر آن در تعدیل تنش خشکی بر صفاتی که گفته شد انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی واقع در اراضی کشاورزی جنوب شهرستان فریدونشهر (استان اصفهان) با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۷ دقیقه طول شمالی و ارتفاع ۲۵۳۰ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی اصفهان، متوسط بارندگی سالیانه منطقه، ۵۹۰ میلی‌متر است. قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری صورت گرفت که در جدول (۱) ارائه شده است.

این آزمایش در قالب طرح کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها و سطوح مورد نظر برای اجرای این آزمایش عبارت‌اند از: رژیم آبیاری در دو سطح (آبیاری مطلوب به‌عنوان شاهد و تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو رقم کلزا (شامل اوکاپی و ناتالی) به‌عنوان فاکتور فرعی و محلولپاشی پاکلوبوترازول در پنج سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌عنوان فاکتور فرعی فرعی درنظر گرفته شدند. عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و لولر بود. سپس اقدام به کرت‌بندی در ابعاد تعیین‌شده (۳×۲/۵ متر) شد. به‌منظور تأمین حاصلخیزی خاک بر اساس توصیه کودی، حدود ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌صورت پایه مورد استفاده قرار گرفت و کاشت بذرها با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع با دست در تاریخ ۱۵ مهرماه ۱۳۹۵ در ردیف‌هایی به فاصله ۶۰ سانتی‌متری و در عمق یک سانتی‌متری خاک انجام شد. تعداد ردیف‌ها در هر کرت چهار ردیف و در فاصله بین دو تیمار یک ردیف کشت نشد و فاصله تکرارها و کرت‌های اصلی از یکدیگر نیز برای اطمینان از اعمال تنش آبی فاصله دو متری درنظر گرفته شد. بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۶۰ سانتی‌متری و

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه‌برداری	بافت	سیلت	رس	شن	شوری	pH	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم
		(٪)			(dS/m)		(٪)		(mg/kg)	
۳۰-۰ سانتی‌متری	سیلتی لومی	۴۰/۱۶	۱۸/۷۶	۴۱/۰۸	۲/۶۵	۷/۵۴	۰/۰۴۸	۰/۱۶	۵۲	۱۵۰

در عمق یک سانتی‌متری خاک کشت شدند. تعداد ردیف‌ها در هر کرت چهار ردیف و در فاصله بین دو تیمار یک ردیف کشت نشد و فاصله تکرارها و کرت‌های اصلی از یکدیگر نیز برای اطمینان از اعمال تنش آبی فاصله دو متری درنظر گرفته شد. آبیاری برای تمام کرت‌ها تا مرحله گلدهی هر ۱۰ روز یک‌بار (معمول منطقه) و با استفاده از شیلنگ و نصب کنتور انجام گرفت. در هر دور آبیاری ۲۲۲ متر مکعب در هکتار آب استفاده شد. در مجموع، میزان آب مصرفی برای تیمار شاهد ۲۲۲۰ مترمکعب در هکتار و برای تیمار تنش در مرحله گلدهی ۱۳۳۰ مترمکعب در هکتار بود. مزرعه کلزا در مرحله اوایل گلدهی، با آب (به‌عنوان شاهد) و محلول پاکلوبوترازول به‌صورت کاربرد شاخساره‌ای تیمار شدند. عمل محلول‌پاشی با یک دستگاه سمپاش پشتی فشاری به‌صورت یکنواخت انجام شد. برداشت مزرعه در تاریخ ۲۰ خردادماه ۱۳۹۶ هنگامی که کل بوته‌های مزرعه زرد شده بودند، پس از حذف حاشیه از خطوط کاشت، صورت گرفت از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته و از هر بوته ۲۰ عدد خورجین به‌طور تصادفی انتخاب شد و طول خورجین هم در شاخه اصلی با استفاده از خط‌کش میلی‌متری تعیین شد. برای به‌دست آوردن تعداد دانه در خورجین، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت آزمایشی و از هر بوته نیز ۲۰ خورجین انتخاب و پس از جداسازی، دانه‌ها شمارش شدند. به‌منظور تعیین عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه بوته‌های موجود در مساحت یک متر مربع از هر کرت به‌طور جداگانه کف‌بر شده و برای جلوگیری از ریزش، بوته‌ها درون کیسه قرار داده شد و برای خشک شدن به‌مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری شدند. پس از جداسازی دانه‌ها از خورجین، وزن دانه‌ها با ترازو توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. درصد روغن نمونه‌های حاصل از دانه‌های کامل هر کرت در آزمایشگاه با روش سوکسله و با استفاده از حلال پترولیوم اتر برآورد شد (۳۲). از زمانی که تیمارهای تنش خشکی و پاکلوبوترازول اعمال شد، یک روز قبل از آبیاری و ۴۸ ساعت بعد از هر آبیاری در زمان حداکثر تشعشع (اواسط روز)، با استفاده از دماسنج مادون قرمز (Lutron- Tm- 958 Taiwan) اقدام شد. برای این کار، در هر کرت چهار بار با قرار دادن دماسنج مادون قرمز با زاویه مایل نسبت به سطح سایه‌انداز گیاهی به اندازه‌گیری دما اقدام شد و میانگین آنها به‌عنوان دمای سایه‌انداز آن کرت درنظر گرفته شد. و شاخص افت دمای سایه‌انداز نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۵):

$$CTD= Ta –Tc$$

CTD: شاخص افت دمای سایه‌انداز، Ta: دمای هوا و Tc: دمای سایه‌انداز گیاهی است.

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و شکل‌ها نیز با نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول بر صفات طول خورجین در بوته، تعداد خورجین در بوته، وزن هزاردانه و عملکرد دانه کلزا و دمای نهایی سایه‌انداز معنی‌دار شد علاوه بر این اثر رژیم آبیاری بر درصد روغن دانه نیز معنی‌دار بود. درحالی که اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول تنها بر صفات طول خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در

جدول ۲. نتیجه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات رویشی، زراعی و دمای نهایی سایه‌انداز در کلزا

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	طول خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	درصد روغن	دمای نهایی سایه‌انداز
تکرار	۲	۶/۴۸^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۲/۸۳^{ns}	۲۶۵۱۷/۴۹*	۰/۰۱^{ns}	۷۲۷۷۱/۴۵^{ns}	۱/۳۶۸^{ns}	۴/۱۰^{ns}
رژیم آبیاری(I)	۱	۷/۹۲^{ns}	۷/۷۸*	۵۰/۹۸*	۲۱۴۰۶/۱۴*	۱۸/۰۹**	۱۰۳۴۳۸۹/۲**	۳۴/۵۲**	۲۹۲/۵۳**
خطای اصلی	۲	۱۸۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۹۵	۱۱۵۹/۴۸	۰/۰۷	۷۲۱۵/۹۲	۱/۳۰۹	۱/۶۵
رقم (V)	۱	۴۳۸۹/۵۷**	۶/۳۷**	۵۱/۶۳*	۱۰۰۴/۵۰^{ns}	۲/۷۱**	۲۹۶۵۷/۲۵*	۱۲/۰۴^{ns}	۱۲/۴۶*
I×V	۱	۱/۲۳^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۲۱/۷۲^{ns}	۲۸۷/۳۲^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۸۵۲۴/۶۰^{ns}	۰/۰۱۳^{ns}	۰/۷۳۹^{ns}
خطای فرعی	۴	۱۲۷/۲۹	۰/۲۵	۳/۶۵	۱۵۴/۴۹	۰/۰۷	۴۲۵۶/۱۱	۱/۰۸۱	۱/۴۲
پاکلوبوترازول (PA)	۴	۷۹/۰۰^{ns}	۰/۲۹*	۱۱/۱۴**	۱۷۵۷/۵۵*	۱/۳۴**	۴۱۲۵/۳۶**	۳/۳۱^{ns}	۵/۵۳*
I×PA	۴	۴۱/۱۵^{ns}	۰/۶۴**	۱۷/۱۵**	۸۷۶/۱۳^{ns}	۱/۸۶**	۸۹۳۴/۱۷**	۰/۲۷۰^{ns}	۰/۹۱^{ns}
V×PA	۴	۱۱۴/۴۷^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۲/۸۱^{ns}	۴۵۲/۷۰^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۱۲۲۶/۲۳^{ns}	۲/۱۰۷^{ns}	۴/۲۲^{ns}
I×V×PA	۴	۲۴/۹۵^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۳/۰۷^{ns}	۴۹۲/۵۵^{ns}	۰/۳۵*	۱۷۸۳/۴۴۱*	۲/۲۵۶^{ns}	۳/۳۴^{ns}
خطای کل	۳۲	۴۹/۱۲	۰/۱۰	۱/۹۲	۴۵۱/۰۲	۰/۱۰	۶۱۲/۶۱۲	۲/۴۰۴	۱/۷۸
ضریب تغییرات (cv)	–	۴/۷۰	۵/۸۱	۶/۱۱	۴/۰۹	۸/۷۳	۴/۵۴	۳/۲۷	۳/۰۹

ns: غیرمعنی‌دار؛ * و **معنی‌دار به‌ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر رقم بر تمامی صفات به‌جز تعداد خورجین در بوته و درصد روغن معنی‌دار بود. گفتنی است که اثر برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها فقط بر صفات وزن هزاردانه و عملکرد دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

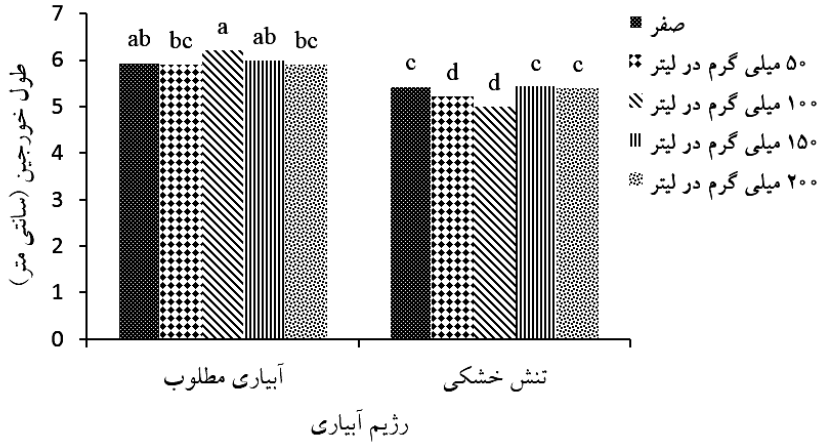
عملکرد و اجزای عملکرد

طول خورجین

تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم آبیاری، رقم و پاکلوبوترازول و برهم‌کنش دوگانه رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول بر طول خورجین بوته کلزا معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول نشان داد که به‌ترتیب بیشترین و کمترین طول خورجین در کلزا در تیمار بدون تنش آبی و با تنش کم‌آبی انتهای فصل با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول به‌دست آمد به‌گونه‌ای که تنش کم‌آبی، سبب کاهش ۸/۴ درصدی طول خورجین شد و نتایج حاکی از تأثیر مثبت پاکلوبوترازول فقط در شرایط تنش آبی داشت (شکل ۱). همچنین بیشترین طول خورجین در رقم ناتالی (۵/۸۳ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳).

گزارش شده که طول خورجین در بوته یک صفت ژنتیکی بوده ولی می‌تواند از شرایط محیطی نیز اثر بپذیرد (۲۵). گان و همکاران (۱۵) در تحقیق دیگری گزارش کردند که تنش خشکی عملکرد را فقط از طریق کاهش تعداد و طول خورجین در بوته کاهش می‌دهد. برخی پژوهشگران بر این باورند که پاکلوبوترازول می‌تواند یک هورمون جدید رشد گیاهی محسوب شود (۱۲ و ۲۱). در تحقیقی سید احمدی و همکاران (۴۲) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله گلدهی طول خورجین کلزا را ۱۲/۵ درصد کاهش داد و همچنین ارقام کلزا از نظر طول خورجین اختلاف معنی‌داری داشتند.

بر طبق گزارش‌ها، پاکلوبوترازول تأثیرات بسیاری بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه داشته و در تحریک مکانیسم‌های حمایتی افزایش مقاومت در مقابل تنش‌های زنده و غیرزنده



شکل ۱. اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول بر طول خورجین در بوته

(حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD=۰/۰۵) است.)

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات گیاهی کلزا تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی

تیمارها	ارتفاع	طول خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	تعداد خورجین در بوته	درصد روغن	دمای نهایی سایه‌انداز
	(سانتی‌متر)				(درصد)	(درجه سانتی‌گراد)
رژیم آبیاری						
آبیاری مطلوب	–	–	–	۵۳۷/۷^{a}	۴۴/۹۰^{a}	۴۰/۴۳^{b}
تنش در مرحله گلدهی	–	–	–	۴۹۹/۹۳^{b}	۳۷/۴^{b}	۴۴/۸۴^{a}
ارقام کلزا						
اوکاپی	۱۵۷/۶۱^{a}	۵/۱۷^{b}	۲۱/۷۴^{b}	–	–	۴۳/۰۹^{a}
ناتالی	۱۴۰/۵۰^{b}	۵/۸۲^{a}	۲۳/۶۰^{a}	–	–	۴۲/۱۸^{b}
غلظت‌های مختلف پاکلوبوترازول						
تیمار شاهد	–	–	–	۵۰۱/۰۰^{b}	–	۴۳/۰۰^{a}
غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر	–	–	–	۵۱۶/۰۰^{ab}	–	۴۳/۱۵^{a}
غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	–	–	–	۵۳۲/۰۰^{a}	–	۴۳/۱۸^{a}
غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر	–	–	–	۵۲۷/۰۰^{a}	–	۴۲/۱۸^{ab}
غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر	–	–	–	۵۱۶/۰۰^{ab}	–	۴۱/۶۷^{b}

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD=۰/۰۵) است.

نقش دارد (۲۱، ۲۴ و ۴۶). همچنین به‌عنوان یک مولکول راهنمای درونی شناخته می‌شود که به‌طور اساسی درگیر مقاومت به تنش محیطی در گیاهان می‌شود (۲۴). همچنین از آن برای افزایش مقاومت گیاهان در برابر اثرات تنش زنده و غیرزنده ناسازگار استفاده شده است (۳۲).

نتایج پژوهش در استفاده از پاکلوبوترازول بر توت‌فرنگی رقم پاروس، نشان داد که سطح برگ، وزن تر اندام هوایی و طول دمبرگ کاهش و رشد رویشی آنها کاهش یافت (۱۰). در

پژوهشی دیگر گزارش شد غلظت پاکلوبوترازول می‌تواند با تأثیر بر فعالیت اسمولیت‌ها و آنزیم‌های پراکسیدازی و با افزایش فعالیت این آنزیم‌ها صدمات ناشی از تنش کم‌آبی را در کنجد تعدیل کند. همچنین مصرف پاکلوبوترازول در ارقام کنجد به‌دلیل تفاوت در فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت حاصل از مصرف آن در ارقام گوناگون متفاوت است (۳۱).

تعداد دانه در خورجین

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که علاوه بر اثرات اصلی رژیم آبیاری، رقم و پاکلوبوترازول، اثر برهم‌کنش دوگانه رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد دانه در خورجین در تیمارهای آبیاری مطلوب با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول به تعداد ۲۳/۵ حاصل شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار آبیاری مطلوب و ۱۵۰ میلی‌گرم پاکلوبوترازول و تیمار تنش خشکی با ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نداشت که نشان‌دهنده اثر کاهشی تنش خشکی روی این صفت و تأثیر تعدیل تنش خشکی با پاکلوبوترازول در مقادیر بالای آن است (شکل ۲). همچنین تعداد دانه در خورجین در رقم ناتالی در حدود ۸ درصد بیشتر از رقم اوکاپی بود (جدول ۳).

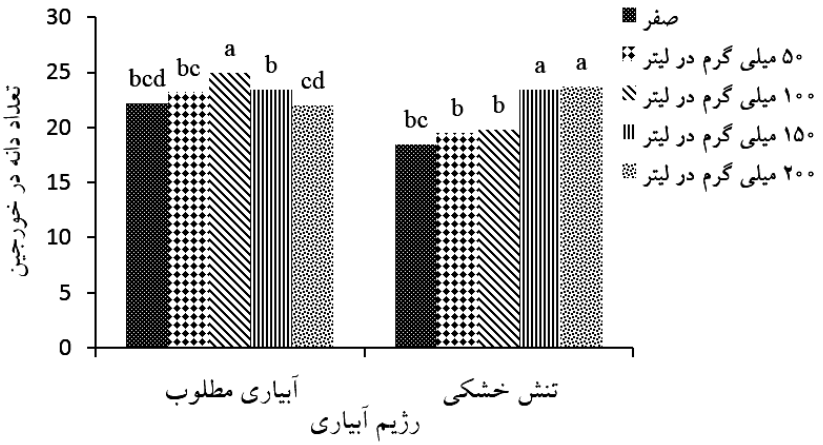
در این پژوهش، تنش خشکی تعداد دانه در خورجین را در کلزا کاهش داد که به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش تعداد دانه در خورجین در پی اعمال تنش رطوبتی، کاهش ایجاد شده در تعداد گل‌هایی است که در مرحله زایشی به خورجین تبدیل می‌شود (۲۳). وقوع تنش خشکی در مرحله رشد زایشی موجب کاهش جذب مواد پرورده و درنتیجه کاهش فتوسنتز برگ و تولید شیره‌پرورده شده که این وضعیت موجب از بین رفتن گل‌ها و درنتیجه افزایش آسیب‌پذیری تشکیل دانه در غلاف‌ها در شرایط تنش خشکی می‌شود (۱۱). ما و همکاران (۲۸) گزارش کردند که برخورد مراحل زایشی گیاه کلزا با تنش خشکی موجب کاهش حداکثر صفات وابسته به عملکرد نظیر تعداد دانه در خورجین می‌شود. آنها همچنین گزارش کردند که کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش، بیشتر به‌دلیل کاهش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین در کلزا است.

تعداد خورجین در متر مربع

نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار رژیم آبیاری و کاربرد پاکلوبوترازول در سطح پنج درصد بر تعداد خورجین در بوته کلزا داشت (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش هفت درصدی تعداد خورجین در بوته شد (جدول ۳) همچنین نتایج حاکی از تأثیر مثبت کاربرد پاکلوبوترازول نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۳).

محققین بیان داشته‌اند که کمبود آب در بسیاری از مراحل نموی، عملکرد کلزا را کاهش می‌دهد ولی اثرات منفی تنش در طی مراحل گلدهی و نمو خورجین‌ها خیلی بارزتر است (۲۲، ۲۳ و ۴۷). تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن دانه‌ها اجزای تشکیل دهنده عملکرد در کلزا هستند (۲).

جمشیدی و همکاران (۲۲) تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه و روغن و افزایش شاخص برداشت در کلزا شد. در پژوهش صورت گرفته توسط جنسن و همکاران (۲۳) مشخص شد که تنش خشکی در اواخر فصل باعث ریزش بیش از نیمی از خورجین‌ها در دو گونه *B. napus* L. و *B. rapa* L. شد، درحالی که خورجین‌های باقیمانده دارای دانه‌های بیشتر و سنگین‌تری بودند. به‌طور کلی وقوع تنش رطوبتی در مراحل انتهایی رشد موجب کاهش تعداد اندام‌های زایشی کلزا از جمله تعداد خورجین‌ها، تعداد دانه و همچنین وزن دانه‌ها می‌شود (۳۸). مندهام و سالیسبوری (۳۰) گزارش کردند که کاهش مقدار آب در مرحله گلدهی کلزا، موجب کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود، اما تأخیر در بروز تنش، سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین می‌شود. پاکلوبوترازول به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک بازدارنده رشد، برای کنترل رشد رویشی در طیف وسیعی از گونه‌های



شکل ۲. اثر برشدهی برهم‌کنش رژیم آبیاری و پاکلوبوترازول بر تعداد دانه در خورجین

(حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD=۰/۰۵) است.)

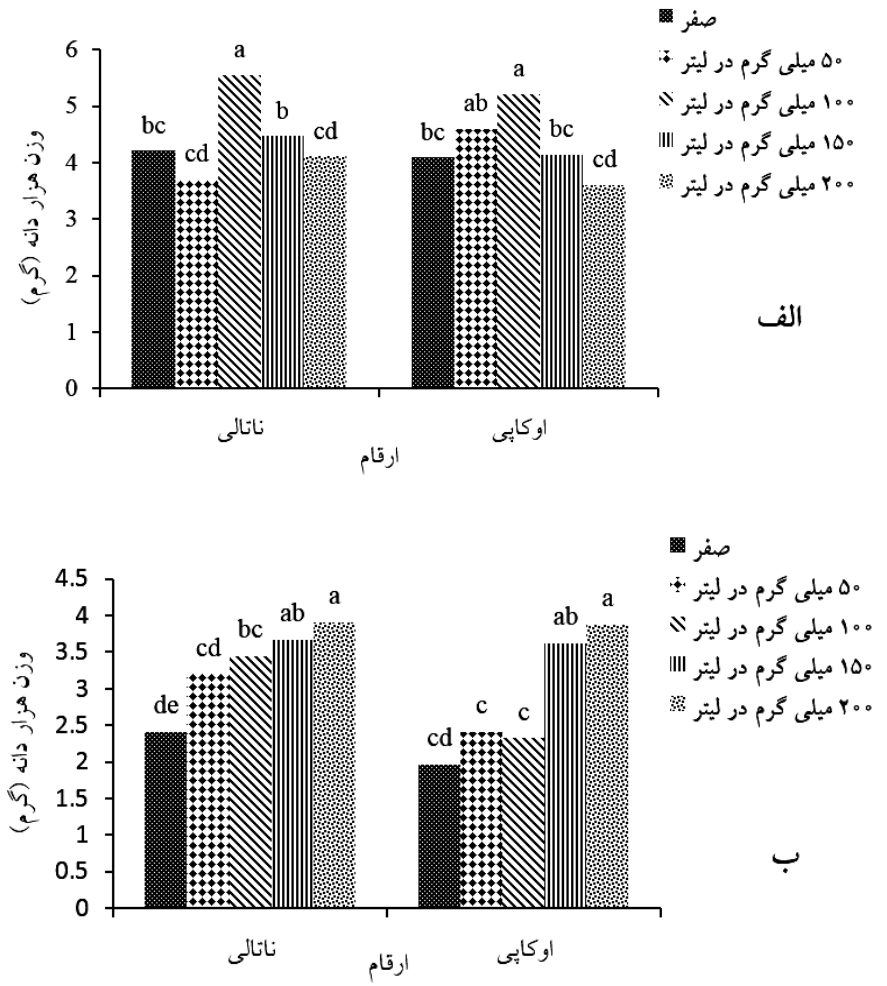
گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد که سبب افزایش سطح فتوسنتزی و عملکرد می‌شود (۲۶). استفاده از پاکلوبوترازول روی انگور توانست بین رشد رویشی و زایشی تعادل برقرار کند و تعداد حبه در خوشه و عملکرد را افزایش دهد (۶). در پژوهشی گزارش شد که کاربرد پاکلوبوترازول سبب کاهش تعداد دانه در غلاف ولی افزایش تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه کلزا شد (۲۶). همچنین گزارش کردند که با کاربرد پاکلوبوترازول در شرایط تنش خشکی، تعداد کپسول در کنجد افزایش یافت (۳۱)

وزن هزاردانه

تجزیه واریانس نشان داد که تمامی اثرات اصلی رژیم آبیاری، رقم و پاکلوبوترازول و برهم‌کنش دو و سه‌گانه بین تیمارها به‌جز اثر برهم‌کنش رقم و پاکلوبوترازول بر وزن هزاردانه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین برش‌دهی شده اثر برهم‌کنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین وزن هزاردانه در تیمار بدون تنش خشکی با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول در رقم ناتالی با (۵/۵۵ گرم) و کمترین آن در رقم اکاپی در معرض تنش خشکی بدون پاکلوبوترازول (۱/۹۶ گرم) حاصل شد (شکل ۳). تنش خشکی به‌ترتیب در ارقام ناتالی و اوکاپی سبب کاهش ۴۲/۷ و ۵۲/۱ درصدی وزن هزاردانه شد و همچنین نتایج حاکی از آن است که در هر دو رقم کلزا، کرت‌هایی که با ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول تیمار شده بودند توانستند وزن هزاردانه بیشتری را در شرایط تنش خشکی تولید کنند (شکل ۳).

پژوهشگران مختلفی به کاهش وزن هزاردانه کلزا در اثر تنش خشکی اشاره داشته‌اند (۱۱، ۲۲ و ۳۰). کاهش وزن هزاردانه به‌دنبال تنش خشکی نیز احتمالاً به‌دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به‌دنبال آن کاهش ساخت و سرعت انتقال مواد فتوسنتزی و آسیمیلات‌ها به دانه‌ها بوده است (۴ و ۳۰) که در این شرایط گیاه حتی با انتقال مجدد ذخایر اندوخته شده خود نیز نتوانسته کاهش آسیمیلات ناشی از تنش را جبران کند و این وضعیت منجر به کاهش وزن دانه‌ها شده است (۲۲). همچنین در مطابقت با نتایج این تحقیق گزارش شد که ارقام کلزا از نظر وزن هزاردانه اختلاف معنی‌داری دارند (۲۲ و ۲۶).

ولیلگاس و همکاران (۴۷) در پژوهشی روی گیاه گندم گزارش کردند که کاربرد پاکلوبوترازول در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش معنی‌دار وزن هزاردانه شد. همچنین سیبی و همکاران (۴۴) گزارش کردند که پاکلوبوترازول وزن هزاردانه را در گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در بررسی اثر مقادیر مختلف

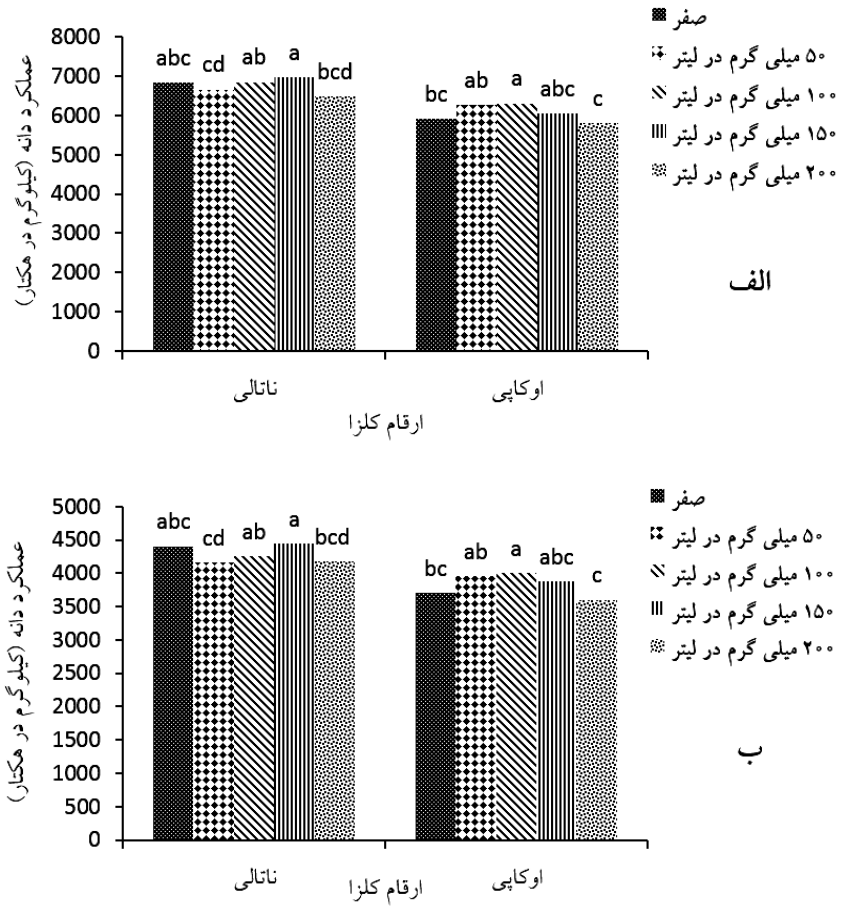


شکل ۳. اثر برشدهی برهم‌کنش رقم و پاکلوبوترازول بر وزن هزاردانه در شرایط: الف) آبیاری مطلوب و ب) تنش خشکی (حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD=۰/۰۵) است.)

پاکلوبوترازول بر عملکرد دانهٔ ژنوتیپ‌های گندم نان مشاهده شد اگرچه تنش خشکی باعث ایجاد اثرات سوئی بر رشد و عملکرد گندم شده است ولی استفاده از پاکلوبوترازول توانسته بخشی از این خسارت را جبران کند که با افزایش میزان غلظت محلول‌پاشی، عملکرد دانه افزایش یافت (۹). همچنین در تحقیق دیگری نشان داده شد که کاربرد پاکلوبوترازول (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) سبب افزایش وزن هزاردانه در شرایط یکسان در ارقام مختلف مورد مطالعه کلزا شد (۲۶).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس نشان داد که به‌جز اثر برهم‌کنش‌های دوگانه رژیم آبیاری و رقم و برهم‌کنش پاکلوبوترازول با رقم، بقیه اثرات اصلی و برهم‌کنش دو و سه‌گانه بین تیمارها بر عملکرد دانه کلزا تأثیر معنی‌داری داشتند (جدول ۲). به‌گونه‌ای که تنش آبی در مرحله گلدهی عملکرد دانه را به‌ترتیب در ارقام ناتالی و اوکاپی به‌میزان ۳۵/۶ و ۳۷/۳ درصد کاهش داد و رقم ناتالی در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی نسبت به رقم اکاپی به‌ترتیب به‌میزان (۱۳/۷۲ و ۱۵/۸۷ درصد) برتری در عملکرد دانه داشت (شکل ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که هر دو رقم، پاسخ تقریباً مشابهی به پاکلوبوترازول هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی داشته‌اند. ولی به‌طور کلی رقم ناتالی هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در



شکل ۴. اثر برشدهی برهم‌کنش رقم و پاکلوبوترازول بر عملکرد دانه در شرایط: الف) آبیاری مطلوب و ب) تنش خشکی (حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نداشتن اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD=۰/۰۵) است.)

تنش آبی، نسبت به رقم اوکاپی عملکرد بالاتری را تولید کرد پس می‌تواند به‌عنوان رقم برتر از بین دو رقم استفاده شده معرفی شود (شکل ۴).

در پژوهش حاضر تمامی اجزای عملکرد کلزا تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافتند. در این راستا، ما و همکاران (۲۸) در پژوهشی نشان دادند که وقوع تنش در مرحله زایشی گیاه کلزا موجب می‌شود که اکثر صفات وابسته به عملکرد نظیر تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و وزن هزاردانه کاهش یابد که کاهش عملکرد دانه بیشتر از طریق کاهش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف است. قدرتی (۱۸) در پژوهشی اثر تنش خشکی را بر عملکرد دانه و ویژگی‌های کمّی ژنوتیپ‌های امیدبخش بهاره کلزا مورد بررسی قرار داد و نشان داد که قطع آبیاری در اوایل مرحله گلدهی، عملکرد دانه را ۲۵ درصد، تعداد خورجین در بوته را ۱۴/۴ درصد، وزن هزاردانه را ۱۳/۶ درصد، تعداد دانه در خورجین را ۱۰ درصد و درصد روغن را ۶/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. در تحقیقی دیگر، سید احمدی و همکاران (۴۲) در یک آزمایش دو ساله در شرایط گلخانه بررسی تأثیر تنش خشکی آخر فصل بر کلزا نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد و میانگین کاهش دو ساله به‌ترتیب ۲۱/۳، ۲۹/۳ و ۳۲/۱ درصد بود که در بین اجزای عملکرد وزن دانه و تعداد غلاف در بوته در اثر تنش خشکی به‌ترتیب ۲۸/۳ و ۴۹/۴ درصد کاهش یافتند. آنگادی و همکاران (۲) گزارش کردند که کاهش عملکرد دانه در اثر تنش

خشکی در مرحله گلدهی بیشتر مربوط به کاهش تعداد غلاف در بوته است ولی کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، عمدتاً از طریق کاهش وزن هزاردانه اتفاق می‌افتد. در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی و تشکیل خورجین و مرحله تشکیل دانه کلزا به‌ترتیب عملکرد دانه را ۴۶ و ۴۰/۴ درصد کاهش داد (۴۷). ولی در پژوهش حاضر چون تنش از مرحله گلدهی آغاز و تا پایان دوره رشد ادامه داشته است، گیاه در هر دو مرحله تحت تنش خشکی بوده و کاهش زیاد عملکرد دانه در شرایط تنش در این پژوهش تحت تأثیر کاهش هر دو صفت تعداد خورجین در بوته و وزن هزاردانه است.

ازمن و همکاران (۳۴) نشان دادند که کاربرد برگساره‌ای پاکلوبوترازول در گندم، موجب افزایش ارتفاع بوته، طول دم گل آذین، تعداد سنبلک در هر سنبله، تعداد دانه در هر سنبلک، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، محتوای پرولین آزاد و پروتئین محلول و کاهش دمای اولیه و نهایی سایه‌انداز، قرائت کلروفیل‌متر و شاخص برداشت شد. آنها همچنین نتیجه گرفتند که پاکلوبوترازول می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد.

در پژوهشی گزارش کردند که کاربرد پاکلوبوترازول سبب افزایش عملکرد دانه در هر دو رقم مورد مطالعه کلزا شد (۲۶). مطالعات انجام شده توسط گونز و همکاران (۱۹) نشان داد که کاربرد خارجی سالیسیلیک‌اسید در گیاهان تحت تنش، رشد و میزان محصول را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. کاربرد برون‌زای تنظیم‌کننده‌های رشد، باعث بهبود رشد و افزایش عملکرد در اکثر گیاهان زراعی می‌شود. عرفان و همکاران (۳) افزایش محصول گندم را در شرایط تنش در اثر کاربرد پاکلوبوترازول گزارش کردند. شاکیروا و همکاران (۴۳) افزایش عملکرد گندم را در اثر کاربرد پاکلوبوترازول گزارش کردند.

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تنها اثر رقم بر ارتفاع بوته کلزا معنی‌دار شد و بقیه تیمارها و برهم‌کنش آنها، اثر معنی‌داری بر ارتفاع کلزا نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر رقم نشان داد که رقم اوکاپی برتری حدود ۱۱ درصدی از نظر ارتفاع نسبت به رقم ناتالی داشت (جدول ۳).

محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که دوره رشد زایشی کلزا را بیشتر از دوره رویشی تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثر تنش خشکی را بر کلزا می‌توان به دوره قبل و بعد از مرحله زایشی تقسیم کرد که اگر در دوره اول تنش وارد شود بیشتر بر رشد سبزینه‌ای گیاه و صفاتی چون ارتفاع تأثیر می‌گذارد، ولی پس از این دوره بیشتر بر میزان گرده‌افشانی گل‌ها، تشکیل دانه و عملکرد اثر می‌گذارد (۱۷). به‌نظر می‌رسد در پژوهش حاضر تنش در مرحله زایشی گیاه (گلدهی) وارد شده است تنش تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع نداشته است. سیداحمدی و همکاران (۴۲) نیز گزارش کردند که اثر تنش خشکی در مرحله گلدهی بر ارتفاع کلزا معنی‌دار نشد. هم‌راستا با نتایج این تحقیق، رضوی‌زاده و عموبیگی (۴۰) گزارش کردند که اثر برهم‌کنش تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر طول اندام‌های هوایی کلزا در شرایط کشت درون شیشه معنی‌دار نشد. با توجه به اینکه رقم اوکاپی دارای تیپ رشدی پابلند و طول دوره رشدی طولانی‌تر نسبت به رقم ناتالی (نیمه‌پاکوتاه) است، احتمالاً ارتفاع کمتر رقم ناتالی با توجه به کوتاه بودن دوره رشد و تیپ رشدی آن قابل توجیه است.

درصد روغن

تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر رژیم آبیاری در سطح یک درصد بر صفت درصد روغن کلزا معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش خشکی آخر فصل، درصد روغن کلزا را ۱۶/۷ درصد کاهش داد (جدول ۳). هم‌راستا با نتایج این تحقیق سیداحمدی و همکاران (۴۲) گزارش کردند که درصد روغن تحت تأثیر تنش خشکی آخر فصل در کلزا منفی بوده و باعث شد که درصد روغن از ۴۴/۸ به ۴۰/۱ کاهش یابد. در تحقیقی دیگر نیز قدرتی (۱۸) گزارش کرد که قطع آبیاری در مرحله گلدهی

سبب کاهش ۶/۵ درصدی درصد روغن دانه کلزا شد که با افزایش مقدار آب در دسترس گیاهان میزان روغن افزایش می‌یابد، کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی می‌تواند به‌علت اختلال در فرایندهای متابولیک بذر و خسارت به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه باشد (۲۷).

دمای نهایی سایه‌انداز

تجزیه واریانس نشان داد که فقط اثرات اصلی رژیم آبیاری، رقم و پاکلوبوترازول بر دمای نهایی سطح سایه‌انداز معنی‌دار بود (جدول ۲). با بررسی دمای نهایی سایه‌انداز کلزا مشخص شد که قطع آبیاری از مرحله گلدهی دمای نهایی سایه‌انداز را به میزان ۹/۸ درصد نسبت به آبیاری مطلوب افزایش داد (جدول ۳). علاوه بر این دمای نهایی سایه‌انداز در بین دو رقم مورد بررسی نیز متفاوت بود به‌طوری که میانگین دمای سایه‌انداز در رقم اوکاپی ۴۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد و در رقم ناتالی ۴۲/۱۸ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۳). همچنین با اعمال ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول، دمای نهایی سایه‌انداز نسبت به تیمار شاهد در حدود ۳/۱ درصد کاهش یافت و فقط با سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

نتایج این آزمایش نشان داد که اعمال تنش خشکی، سبب افزایش محدودیت دسترسی به آب و به‌دنبال آن کاهش رطوبت نسبی برگ و افزایش درجه حرارت داخل سایه‌انداز شد. به‌طور کلی بین رطوبت خاک و دمای سایه‌انداز گیاهی همبستگی منفی وجود دارد، به‌طوری که با کاهش رطوبت در خاک، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و روزنه‌ها بسته می‌شوند و این امر کاهش تعرق و افزایش دمای سایه‌انداز را موجب می‌شود (۱۴). اندازه‌گیری دمای سایه‌انداز در طول دوره زندگی گیاه می‌تواند به‌عنوان معیاری برای تحمل به خشکی و همچنین شاخصی برای استفاده بهتر از آب به‌کار برده شود (۱). پینتر و همکاران (۳۵) بیان کردند که وضعیت رطوبتی خاک تأثیر مستقیمی بر دمای سایه‌انداز گندم دارد و این تفاوت با تشدید تنش خشکی افزایش می‌یابد. سایر پژوهشگران در مورد نقش تنش خشکی در افزایش دمای سایه‌انداز نیز نتایج مشابهی گرفتند (۸ و ۳۳).

دمای نهایی سایه‌انداز گیاهی در بین دو رقم مورد بررسی در این تحقیق نیز متفاوت بود. به‌نظر می‌رسد علت عملکرد بالاتر رقم ناتالی تحت هر دو شرایط رژیم آبیاری، دمای پایین‌تر سایه‌انداز، تعرق کمتر و حفظ رطوبت بالاتر در خاک نسبت به رقم اکاپی است. مشخص شده ارقام گندم با دمای پایین‌تر سایه‌انداز گیاهی در نیمروز، از وضعیت آبی بهتری برخوردارند و همچنین ارقامی که دمای سایه‌انداز آنها در شرایط آبیاری کمتر است به‌طور قابل ملاحظه‌ای آب کمتری مصرف کرده و هدایت روزنه‌ای پایین‌تری خواهند داشت (۸). پژوهشگران مختلفی گزارش کردند که ارقام با دمای سایه‌انداز پایین‌تر میزان فتوسنتز بیشتری دارند که این موضوع را می‌توان به روابط آبی و تبخیر و تعرق نسبت داد (۱۶ و ۳۵).

ویژون و ملکسلام (۴۸) در تحقیقی اثر پونیکونازل را بر دمای سایه‌انداز گیاهی مورد بررسی قرار دادند آنها گزارش کردند که پونیکونازل دمای سایه‌انداز نهایی را به‌میزان قابل‌توجهی نسبت به تیمار شاهد در گیاه کلزا کاهش داد.

نتیجه‌گیری

تنش خشکی آخر فصل، سبب کاهش معنی‌دار طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در گیاه، وزن هزاردانه و عملکرد دانه کلزا شد درحالی که دمای نهایی سطح سایه‌انداز گیاه افزایش یافت. کاربرد برگساره‌ای پاکلوبوترازول در زمان گلدهی، موجب افزایش معنی‌دار تعداد خورجین در گیاه، وزن هزاردانه و عملکرد دانه و کاهش دمای نهایی سطح سایه‌انداز کلزا شد. همچنین کاربرد پاکلوبوترازول (به‌خصوص سطوح ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش خشکی، با بهبود طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه، سبب افزایش عملکرد دانه شد. رقم ناتالی دارای ارتفاع نهایی بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه و

عملکرد دانه بالاتری نسبت به رقم اوکاپی بود. به‌طور کلی مشخص شد که هر دو رقم کلزا در مراحل پایانی رشد (گلدهی) به تنش خشکی حساس بوده و باعث کاهش بیشتر صفات وابسته به اجزای عملکرد و کاهش بیش از ۳۵ درصدی عملکرد دانه در هر دو رقم شد. هر چند بیشترین نتایج مثبت کاربرد استفاده از تنظیم‌کننده رشد پاکلوبوترازول بر عملکرد در شرایط مطلوب حاصل شد، لیکن، تأثیر تعدیل‌کنندگی آنها در شرایط تنش خشکی بر عملکرد و اجزای آن در کلزا دیده شد که می‌تواند در پژوهش‌های مزرعه‌ای بعدی مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد و با توجه به شرایط آکرواکولوژیک هر منطقه تیمارهای مناسب تعیین و به‌کار گرفته شوند که پژوهش‌های تکمیلی در این راستا قابل توصیه است.

منابع مورد استفاده

1. Alderfasi, A. and J. Morgan. 2001. Use of canopy temperature as an indicator for water use efficiency and yield productivity in wheat. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 8: 35-49.
2. Angadi, S. V., H. Cutforth. W. McConkey and Y. T. Gan. 2003. Yield adjustment by canola under different plant populations in the semiarid prairie. *Crop Science* 43: 1358-1366.
3. Arfan, M., R. Arthar and M. Ashraf. 2006. Does exogenous application of paclobutrazol through the rooting media modulate growth and photosynthetic capacity of two differently adopted durum wheat cultivars under salt stress. *Journal of Crops Improvement* 14(1): 67-81.
4. Baghbani- Arani, A., S. A. M. Modarres-Sanavy, M. Mashhadi Akbar Boojar and A. Mokhtassi Bidgoli. 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops & Products* 109: 346-357.
5. Balota, M., W. A. Payne, S. R. Evatt, M. D. Lazer and T. R. Peters. 2007. Morohological traist associated with canopy tempreture depression in three closely related wheat lines. *Crop Science* 48: 1897-1910.
6. Baninasab, B. and M. Shahgholi. 2010. Effect of paclobutrazol on vegetative growth, yield and fruit quality of' Keshmeshi Bovanat grape. *Acta Horticulture* 931: 449-452.
7. Berova, M. and Z. Zlatev. 2012. Physiological response of paclobutrazol-treated triticale plants to water stress. *Biologia Plantarum* 46: 133-136.
8. Blum, A. 1996. Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress conditions. *American Journal of Agriculture and Biological Science* 4(3): 215-223.
9. Chang, J. M., D. E. Clay, C. G. Carlson, C. L. Reese, S. A. Clay and M. M. Ellsbury. 2013. The effect of paclobutrazol on yield and percent oil of wheat cultivars. *Agronomy Journal* 96: 825-831.
10. Danaei Far, A., M. Gholami, M. Mobli and B. Baninasab. 2019. The effect of paclobutrazol and calcium prohexadione on some vegetative and reproductive characteristics of strawberry (Fragaria × ananassa Duch. cv. Paros). *Journal of Crop Production and Processing* 9(2): 1-11. (In Farsi).
11. Daneshmand, A. R., A. H. Shirani Rad and M. R. Ardakani. 2006. Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Plant Production Science* 10(1): 28-35.
12. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and paclobutrazol. *Journal of Plant Growth Regulation* 45: 215-225.
13. FAO. 2017. Food and agriculture organization of the United Nation quaterly bulletion of statistucs. Rome, Italy.
14. Flexas, J. and H. Medrano. 2002. Drought- inhabition of photosystem in C3 plants: stomatal and non- stomatal limitaitions revisited. *Annals of Botany* 89(2): 183-189.
15. Gan, Y., S. V. Angadi, H. Cutforth, D. Potts, V. V. Angadi and C. L. McDonald. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science* 84: 679-704.
16. Gardner, B. R., B. L. Blad and G. L. Wilson. 2006. Characterizing corn hybrid moisture stress sensitivity using canopy temperature measurements. *Remote Sensing Environ* 19: 207-211.
17. Ghobadi, M., M. Bakhshandeh, G. Fathi, M. H. Gharineh, K. Alamisaeed, A. Naderi and V. Ghobadi. 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.): effect on yield, yield components, seed oil and protein contents. *Journal of Agronomy* 5(2): 336-341.
18. Ghodrati, G. R. 2013. Effect of drought tension on grain yield and quantitative characteristics of promising genotypes of spring canola. *Crop Physiology Journal* 5(18): 67-82. (In Farsi).
19. Gunes, Y. A., M. Inal, F. Alpaslan, E. Eraslan, G. Bagci and G. N. Cicek. 2007. Paclobutrazol induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown

under salinity. *Field Crops Research* 47(1): 93-105.
20. Hayati, A., M. Ramroudi and M. Galavi. 2011. Effect of timing of potassium application on millet (*Setaria italica*) yield and grain protein content in different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing* 1(2): 35-44. (In Farsi).
21. Hussein, M. M., L. K. Balbaa and M. S. Gaballah. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 3: 321-328.
22. Jamshidi, N., A. H. Shirani rad, F. Takht chin, P. Nazeri and M. Ghafari. 2012. Evaluation of rapeseed genotypes under drought stress condition. *Journal of Crop Ecophysiology* 6(3): 323-338. (In Farsi).
23. Jensen, C. R., V. O. Mogensen, G. Mortensen, J. K. Fieldsend, G. F. J. Milford, M. N. Andersen and J. H. Thage. 2013. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field- grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying evaporation demand. *Field Crop Research* 47: 93-105.
24. Kaydan, D., M. Yagmur and N. Okut. 2007. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). *Tarim Bilimleri Dergisi* 13(2): 114-119.
25. Kimber. D. S. and D. L. Mc Gregor. 1995. Brassica Oil Seeds: Production and Utilization. Wallingford, Oxon, UK: CAB International..
26. Kuai, J., Y. Yang, Y. Sun, G. Zhou, Q. Zuo, J. Wu and X. Ling. 2015. Paclobutrazol increases canola seed yield by enhancing lodging and pod shatter resistance in (*Brassica napus*). *Field Crops Research* 180: 10-20.
27. Laribi, B., I. Bettaieb, K. Kouki, A. Sahli, A. Mougou and M. Brahim. 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. *Industrial Crops & Proudcts* 30: 372-379.
28. Ma, Q., S. R. Niknam and D. W. Turner. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. *Australian Journal of Agriculture Research* 57(2): 221-226.
29. Manal, M. E. H., S. Abd-Allah and A. Abdel-Razik. 2013. Effects of paclobutrazol on mitigation of temperature stress induced by manipulation of sowing date in wheat plant. *The Egyptian Journal of Experimental Biology* 9: 125-135.
30. Mendham, N. J. and P. A. Salisbury. 1995. Physiology, Crop Development, Growth and Yield of Brassica Oilseeds. Eds., Bmssica Oilseeds, Centre for Agricultural Bioscience International, Wallingford, CAB International.
31. Miri, M., H. Pirdashti, E. Faghani and V. Ghasemi-Omran. 2018. Effects of paclubutrazol on physiological characterisic two genotypes (*Sesamum indicum*) under water sress. *Applied Research in Field Crops* 30(1): 83-95. (In Farsi).
32. Moradi-Ghahderijani, M., S. Jafarian and H. Keshavarz. 2017. Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. *Rhizosphere* 4: 54-61.
33. Mtui, T. A., E. T. Kanemasu and E. Wassom. 2004. Canopy temperatures, water use and water efficiency of corn genotypes. *Agronomy Journal* 73: 639-643.
34. Ozmen, A. D., F. Ozdemir and I. Turkan. 2003. Effects of paclobutrazol on response of two barley cultivars to salt stress. *Plant Biology* 46: 263-268.
35. Pinter, P. J., Jr. Zipoli, G. Reginato, R. J. Jackson, R. D. Idso and J. P. Hohman. 1990. Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars. *Agricultural Water Management* 18: 35-48.
36. Pirzad, A., A. Fayyaz Moghaddam, M. Razban and Y. Raei. 2012. The evaluation of dried flower and essential oil yield and harvest index of (*Matricaria chamomilla* L.) under varying irrigation regimes and amounts of super absorbent polymer (A200). *Journal of Sustainable Agriculture Production Science* 22(3): 85-99.
37. Priyanka, T., N. Vikram, S. R. Dhiman and T. C. Gupta. 2015. Effect of growing media, pinching and paclobutrazol on growth and flowering of barleria cristata for suitability as pot plant. *The Indian Journal of Agricultural Sciences* 85: 143-158.
38. Poma, I., V. Giacoma and L. Grictina. 1999. Rapeseed (*Brassica napus L. Var. Oleifera D.C.*) ecophysiological and agronomical aspects as affected by soil water availability. 10th International Rapeseed Congress. Canberra, Australia.
39. Razavizadeh, R., M. Kazemzadeh and Sh. Enteshari. 2013. The effect of paclobutrazol on some physiological indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) seedlings in salinity stress conditions. *Crop Physiology Journal* 5(19): 35-48. (In Farsi).
40. Razavizadeh, R. and M. Amobeigi. 2013. The effect of paclobutrazol in improvement of drought tolerance of *Brassica napus* L. seedling under in vitro culture. *Journal of Plant Process and Function* 2(3): 21-34. (In Farsi).
41. Sara, R. T., G. M. Deborah and M. C. Bert. 2015. Effects of paclobutrazol and fertilizer on the physiology, growth and biomass allocation of three Fraxinus species. *Urban Forestry and Urban Greening* 14: 590-598.
42. Seyedahmadi, A. R., A. M. Bakhshande and M. H. Gharineh. 2015. Evaluation physiological characteristics and

grain yield canola cultivars under end seasonal drought stress in weather condition of Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13(1): 71-80. (In Farsi).
43. Shakirova, F. M. and D. R. Sahabutdinova. 2010. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by paclobutrazol and salinity. *Plant Science* 164: 317-322.
44. Sibi, M., M. Mirzakhani and M. Gomarian. 2012. Response of physiological characteristics to water stress, application of paclobutrazol and zeolite in safflower. *International Journal of Agriculture and Crop Science* 4(4): 151-156.
45. Tona, K., O. Onagbesan, V. Bruggeman, A. Collin, C. Berri, M. J. Duclos, S. Tesseraud, J. Buyse, E. Decuypere, S. Yahav. 2008. Effects of heat conditioning at d 16 to 18 of incubation or during early broiler rearing on embryo physiology, post-hatch growth performance and heat tolerance. *Archiv für Geflügelkunde* 72(2): 75-83.
46. Vatan Doost, H., R. Seyed Sharifi and Y. Kheirizadeh Arough. 2019. Effect of irrigation levels and plant growth promoting rhizobacteria on yield, some physiological and biochemical indices of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Production and Processing* 9(2): 99-112. (In Farsi).
47. Villegas, D., J. Casadesus, S. G. Atienza, V. Martos, F. Maalouf, F. Karam, I. Aranjuelo and S. Nogues. 2011. Effect of paclobutrazol on biochemical characteristics and yield components of wheat (spring cultivars). *Agricultural and Forest Meteorology* 481: 394-401.
48. Weijun, Z. and L. Melakeselam. 1999. Uniconazole-induced tolerance of rape plants to heat stress in relation to changes in hormonal levels, enzyme activities and lipid peroxidation. *Plant Growth Regulation* 27(2): 99-104.
49. Wen-zhong, Z., H. Ya-dong and D. Hong-juan. 2007. Relationship between canopy temperature at flowering stage and soil water content, yield components in rice. *Rice Science* 14: 67-70.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 10, No. 3, Fall 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Paclobutrazol on Canopy Temperature and Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Two Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars in Different Irrigation Regimes

Z. Adavi[1*] and K. Asilan[2] and A. Baghbani Arani[3]

(Received: September 08-2019; Accepted: December 17-2019)

Abstract

Plant growth regulators (PGRs) are used to prevent reduction in rapeseed grain yield under limited moisture conditions. A field experiment was conducted to investigate the effect of paclobutrazol (0, 50, 100, 150 and 200 mg L^{-1}) on canopy surface temperature and some quantitative and qualitative characteristics of two rapeseed cultivars (Okapi and Natalie) under full irrigation and late season drought stress conditions at Research Station of College of Agriculture and Natural Resources of Payam Noor University of Fereydunshahr, Isfahan, Iran, in 2016-2017 growing season. The experimental design was split split plot based on randomized complete block design with three replicates. Results showed that all the treatments including late season drought stress, paclobutrazol and cultivar had significant effects on number of seeds per pod, pod length, seed weight, canopy temperature and seed yield. Both cultivars were highly sensitive to late season drought stress at flowering, so that drought stress led to a nearly 40% decrease in grain yield of both cultivars. In both cultivars the application of 100 mg L^{-1} paclobutrazol under full irrigation and 200 mg L^{-1} under late season drought stress produced the highest grain yield. Both cultivars had similar responses to drought stress and paclobutrazol, while Natalie (5346 kg ha^{-1}) produced higher yield than Okapi cultivar (4910 kg ha^{-1}). Also, in both cultivars the application of paclobutrazol reduced canopy temperature under drought stress conditions. According to our results, although drought stress suppresses rapeseed grain yield and yield components, the examined plant growth regulator could be harnessed to compensate, at least in part, for the yield suppression imposed by the late season drought stress. Therefore, use of paclobutrazol could be recommended to alleviate the drought stress effect on rapeseed.

Keywords: Cut-off irrigation, Growth regulators, Canopy surface temperature, Rapeseed, Yield

1, 2, 3. Assistant Professor, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Agriculture Science, Payam Noor University, Tehran, Iran.
*: Corresponding Author, Email: z_adavi@pnu.ac.ir