"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و چهارم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1

اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و روغن دانه کانولا (*Brassica napus* L.) رقم نپتون در شرایط تنش خشکی

Effect of foliar application of micronutrients and salicylic acid on seed and oil yield of canola (*Brassica napus* L. cv. Neptune) under drought stress conditions

یونس میر[۱]، حامد خسروی[۲]، ماشااله دانشور[۳] و احمد اسماعیلی[۴]

چکیده

میر، ی.، ح. خسروی، م. دانشور و ا. اسماعیلی. ۱۴۰۱. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و روغن دانه کانولا (*Brassica napus* L.) رقم نپتون در شرایط تنش خشکی. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۴ (۳): ۳۰۱ -۲۸۵.**

بمنظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و روغن دانه کانولا در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۹۷-۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در دو سطح: آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه (بدون تنش) (A_1) و آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش خشکی) (A_2) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی ترکیب عناصر آهن، روی و منگنز: صفر (B_1) و غلظت دو در هزار (B_2) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در چهار سطح: صفر (C_1)، ۰/۵ (C_2)، یک (C_3) و ۱/۵ (C_4) میلی‌مولار در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل (۱۲ درصد)، تعداد خورجین در بوته (۲۰/۴ درصد) و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز (۲۲ درصد) شد. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باعث افزایش محتوای کلروفیل (۱۳ درصد) و کاروتنوئیدها (۱۰ درصد) گردید. در تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار، بیشترین میزان روغن دانه (۴۰/۹ درصد) بدست آمد. بالاترین مقدار بهره‌وری آب (۱/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در ترکیب تیماری آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه، محلول‌پاشی دو در هزار عناصر کم‌مصرف و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار ($A_1B_2C_4$) بدست آمد. بیشترین مقدار عملکرد دانه در سال اول (۴۴۲۷ کیلوگرم در هکتار) از ترکیب تیماری آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه، محلول‌پاشی دو در هزار عناصر ریزمغذی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار ($A_1B_2C_4$) و در سال دوم (۴۹۵۵ کیلوگرم در هکتار) از ترکیب تیماری آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه، محلول‌پاشی دو در هزار عناصر ریزمغذی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک یک میلی‌مولار ($A_1B_2C_3$) بدست آمد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی، مصرف همزمان عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد دانه گردیده و باعث افزایش معنی‌دار عملکرد روغن (۱۴۴۹ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تیمار شاهد (۸۰۳ کیلوگرم در هکتار) شد. براساس نتایج این آزمایش محلول‌پاشی ترکیب عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز همراه با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، باعث بهبود عملکرد دانه کانولا در شرایط تنش خشکی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، پراکسیداز، تنش خشکی، عناصر کم‌مصرف و کانولا

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانش آموخته دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: Younesmir80@yahoo.com)
۲- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۴- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از گیاهان دانه روغنی مهم دنیا به شمار رفته و پس از سویا (*Glycine max* L.) دومین گیاه دانه روغنی یک‌ساله جهان است (FAO, 2018). خشکی و کم‌آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده زراعت و تولید کلزا به شمار رفته و اثر تنش خشکی بر عملکرد کلزا تابعی از ژنوتیپ، شدت و طول مدت تنش، شرایط آب و هوایی و مراحل رشد گیاه می‌باشد (Majidi *et al.*, 2015). اثر منفی تنش خشکی در کلزا در مرحله گل‌دهی، تشکیل و پر شدن دانه بیشتر بوده و باعث تشدید کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Keerthi *et al.*, 2017). نتایج تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز (Hatamvand *et al.*, 2014) و کاهش میزان کلروفیل (Mohammadi *et al.*, 2019)، کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه (Jaberi *et al.*, 2015) و عملکرد دانه (Payendeh *et al.*, 2020) در گیاه کلزا می‌شود.

نتایج تحقیقات نشان داده است که علاوه بر استفاده از هیبریدهای متحمل به محیط‌های تنش‌زا، استفاده از روش‌های صحیح به‌زراعی مانند کوددهی مناسب، مصرف تنظیم‌کننده‌های رشد و عناصر موثر در بهبود تحمل گیاه به تنش‌های محیطی، می‌توانند باعث بهبود رشد و مصرف بهینه آب در زراعت کلزا شوند (Assefa *et al.*, 2017). سه عنصر آهن، روی و منگنز بیش از سایر عناصر ریزمغذی در امر تغذیه نقش دارند. آهن جزء ضروری بسیاری از آنزیم‌ها است. آهن جزئی از ناقل‌ها مثل فرودکسین و سیتوکروم بوده و در تثبیت نیتروژن، تکامل کلروپلاست و فتوسنتز نقش دارد. عنصر روی نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، پروتئیناز، تشکیل RNA و تنظیم‌کننده‌های رشد دارد. منگنز کوفاکتور ۳۵ آنزیم بوده و در سیستم‌های اکسیداسیون و احیا و همچنین در متابولیسم پروتئین‌ها، کربوهیدارت‌ها، لیپیدها و تقسیم سلولی نقش دارد (Marschner, 2012). نتایج یک آزمایش نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش رشد و عملکرد دانه کلزا شد، ولی استفاده از کود مرکب آهن، روی و منگنز باعث جبران ۳۵ درصد از کاهش عملکرد آن شد (Payendeh *et al.*, 2020). گزارش شده است که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و منگنز باعث افزایش محتوای کلروفیل برگ و کارآیی مصرف آب در گیاه کلزا شد (Khodabin *et al.*, 2019).

اسید سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد است که در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش مهمی دارد. القای گل‌دهی، رشد و نمو، تولید اتیلن، تأثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس، از نقش‌های مهم اسید سالیسیلیک اسید هستند (Akbari and Maleki, 2018). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در کلزا باعث افزایش محتوای کلروفیل در تیمارهای قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی گردید (Kalantar Ahamadi *et al.*, 2017) و در شرایط تنش خشکی باعث افزایش ۳۱ درصدی عملکرد دانه کلزا شد (Mohammadi *et al.*, 2019).

باتوجه به اهمیت گیاه کلزا در تأمین روغن و نظر به اینکه تنش کم‌آبی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید کلزا در ایران به شمار می‌رود، نیاز به تحقیقات در زمینه کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اثر مثبت مصرف عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک در گیاهان مختلف، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی امکان کاهش اثر منفی تنش خشکی با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک در کانولا اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۵ در مزرعه کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در شهرستان خرم‌آباد با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۴۹۲/۷ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد (براساس آمار بلندمدت ۵۴ ساله از سال ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۴) و اقلیم نیمه‌خشک (براساس ضرایب دمارتن آمبرژه) انجام شد (جدول ۱). آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه مرکب تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۲). بر مبنای نتایج آزمون خاک (جدول ۲) و عملکرد دانه مورد انتظار کانولا در منطقه، براساس توصیه کودی موسسه آب وخاک کشور (جدول ۳) ۷۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع کود سوپر فسفات تریپل) قبل از کاشت به زمین داده شد. مقدار ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن نیتروژن

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (خرم‌آباد، ۱۳۹۷-۱۳۹۵)

Table 1. Meteorological information of the experiment site (Khorramabad, 2016-2018)

		بارندگی Precipitation (mm)		میانگین دمای هوا Mean of air temperature (ºC)		مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours	
		۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷	۱۳۹۵-۹۶	۱۳۹۶-۹۷
Month	ماه	2016-2017	2017-2018	2016-2017	2017-2018	2016-2017	2017-2018
October	مهر	0	0	19.8	20.4	277.1	302.4
November	آبان	8.6	2.8	15.5	15.7	220	219.9
December	آذر	66.2	36.6	7.3	7.5	204	194.1
January	دی	82.6	50.1	6.9	7.6	157.6	205.2
February	بهمن	101	68.7	4.2	8.3	184	154.5
March	اسفند	44.3	62.7	9.4	11.7	226.2	207.3
April	فروردین	80.8	103.7	14.0	15.2	198.3	222.7
May	اردیبهشت	32.8	151	20.1	17.2	274.9	194
June	خرداد	0	12	24.5	24.6	382.9	318.6

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physical and chemical properties of the soil at experiment site (0-30 cm)

Year	سال	کربن آلی OC (%)	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
					$mg.kg^{-1}$					
2016-2017	۱۳۹۵-۹۶	0.67	7.5	258	5	3.8	0.44	0.85	7.7	0.64
2017-2018	۱۳۹۶-۹۷	0.78	7.4	262	4.8	3.8	0.48	0.81	7.6	0.64

بافت خاک: لؤمی رسی (۳۵ درصد رس، ۳۹ درصد شن و ۲۶ درصد سیلت)، وزن مخصوص ظاهری خاک: ۱/۴۷ گرم بر کیلوگرم و ظرفیت زراعی: ۲۳/۷۰ درصد

Soil texture: clay loam (Clay 35%, Silt 36%, Sand39%), Bulk density: 1.57 $g.kg^{-1}$ and Fc: 23.70

جدول ۳- حد بحرانی محتوای عناصر غذایی خاک برای گیاه کلزا

Table 3. Threshold of soil nutrients content for rapeseed (Khademi *et al.*, 2001).

		فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
Nutrients	عناصر	$mg.kg^{-1}$					
Concentration	غلظت	15	200	5	5	1	0.8

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

(از منبع کود اوره) به‌صورت تقسیط و در سه نوبت؛ یک سوم هم‌زمان با کاشت بذر (به‌صورت پایه همراه با کود فسفر) و باقیمانده آن در دو مرحله پایان روزت و آغاز گل‌دهی به‌صورت سرک مصرف شد (Khademi *et al.*, 2001). براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) و با توجه به اینکه غلظت عناصر آهن، روی و منگنز در خاک محل اجرای آزمایش پایین‌تر از حد بحرانی بود (جدول ۳)، کمبود این عناصر با استفاده از کود مایع تجاری فرتی‌میکس سه‌گانه که از شرکت آرمان مبین پویان (نماینده شرکت تولید کننده Aurantica اسپانیا در ایران) تهیه شد، جبران گردید. این کود حاوی عناصر آهن، روی و منگنز (به‌ترتیب ۵، ۲ و ۲ درصد وزنی) است که با نسبت دو در هزار (۸۰۰ گرم در ۴۰۰ لیتر آب در هکتار) روی بوته‌ها محلول‌پاشی شد. طول هر کرت آزمایشی پنج و عرض آن دو متر و شامل چهار ردیف کاشت بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها و فاصله بین کرت‌های مجاور ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی و فاصله بین بلوک‌ها پنج متر بود. کاشت بذر با تراکم اولیه ۴۰ بوته در مترمربع، پس از آماده‌سازی بستر بذر و اضافه کردن کودهای پایه (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، در پاییز و به‌صورت دستی با عمق کاشت یک سانتی‌متر انجام شد. تاریخ کاشت در هر دو سال ۱۲ مهر بود. برای ایجاد تراکم مورد نظر (۸۰ بوته در مترمربع)، در مرحله چهار تا شش برگی اقدام به تنک بوته‌های اضافی شد. رقم کانولای مورد استفاده در این آزمایش رقم نپتون بود. این رقم در کشورهای فرانسه و مجارستان ثبت شده و دو صفر با تیپ رشد زمستانه، دارای پتانسیل عملکرد بالا، دارای قدرت شاخه‌دهی بالا، ارتفاع متوسط، مقاوم به ریزش دانه و خوابیدگی بوته و متحمل به سرما است (Anonymous, 2015). تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در دو سطح آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه (بدون تنش) (A_1) و آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش خشکی) (A_2) در کرت‌های اصلی محلول‌پاشی ترکیب عناصر آهن، روی و منگنز: صفر (B_1) و غلظت دو در هزار (B_2) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در چهار سطح: صفر (C_1)، ۰/۵ (C_2)، یک (C_3) و ۱/۵ (C_4) میلی‌مولار در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. تیمارهای آزمایشی براساس مراحل فنولوژیک کلزا و با استفاده از سیستم کدبندی BBCH اعمال شدند. محلول‌پاشی عناصر کم مصرف آهن، روی و منگنز (از منبع کود مایع فرتی‌میکس سه‌گانه) در مرحله روزت (BBCH29) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ساخت شرکت Samchan، کره جنوبی در دو مرحله آغاز گل‌دهی (BBCH60) و پر شدن دانه (BBCH72) انجام شد. محلول‌پاشی با استفاده از سمپاش پشتی (برقی) با نازل شره‌ای و فشار دو بار انجام شد. محلول‌پاشی در هنگام صبح یا بعدازظهر و در زمانی که وزش باد وجود نداشت انجام شد. جهت جلوگیری از انتقال محلول هر کرت به کرت‌های مجاور، در هنگام محلول‌پاشی از پوشش پلاستیکی در دو طرف هر کرت استفاده شد.

اعمال تنش خشکی هم‌زمان با مرحله خارج شدن گیاه از روزت و آغاز رشد مجدد (BBCH32)، با اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از آبیاری، انجام شد. جهت تعیین زمان آبیاری در فاصله بین دو آبیاری و باگذشت ۴۸ ساعت از آبیاری، روزانه از هر کرت اصلی، یک کرت فرعی به‌طور تصادفی انتخاب و با استفاده از مته نمونه‌برداری، نمونه‌هایی از خاک مزرعه در ناحیه عمق نفوذ مؤثر ریشه تهیه و رطوبت آن اندازه‌گیری شد. با رسیدن رطوبت وزنی خاک در تیمارهای شاهد و تنش به‌ترتیب به ۱۸/۹ و ۷/۲ درصد، آبیاری انجام شد. حجم آب آبیاری (V_W) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 2002).

$$Vw = \frac{(FC - Q) \times BD \times D \times A}{Ea} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

Vw: حجم آب آبیاری (متر مکعب)، FC: درصد وزنی رطوبت در ظرفیت مزرعه، Q: درصد وزنی رطوبت اندازه‌گیری شده، BD: وزن مخصوص ظاهری

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D: عمق نفوذ مؤثر ریشه (متر)، A: مساحت کرت (مترمربع)، Ea: کارایی آبیاری هستند. آب مورد نیاز با استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن و به‌صورت آبیاری سطحی به کرت‌ها داده شد. کارایی توزیع آب ۹۰ درصد درنظر گرفته شده و حجم آب آبیاری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری شد (جدول ۴).

در مرحله گل‌دهی کامل (BBCH67) از پهنک آخرین برگ توسعه یافته و سالم بالای بوته‌های هر کرت نمونه‌برداری شده و محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها در آنها اندازه‌گیری شدند (Lichtenthaler, 1987). اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز برگ با استفاده از روش چانس و ماهلی (Chance and Maehly. 1955) انجام شد. اندازه‌گیری تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در هر کرت در پایان رشد بوته‌ها انجام شد.

برای تعیین عملکرد دانه، پس از حذف بوته‌های فضای حاشیه، محصول بوته‌های ۳/۶ مترمربع از هر کرت برداشت و پس از خرمن‌کوبی و بوجاری توزین شد. وزن هزار دانه بوته‌های هر کرت با شمارش ۱۰۰۰ عدد بذر با استفاده از دستگاه بذرشمار و توزین آنها تعیین شد. برای اندازه‌گیری روغن دانه از دستگاه اتوآنالیزور NIR (GA7250, Perkins, Sweden) استفاده شد. عملکرد روغن از حاصل‌ضرب درصد روغن دانه در عملکرد دانه بدست آمد. بهره‌وری آب با تعیین نسبت عملکرد دانه در واحد سطح به مقدار آب مصرفی محاسبه شد (Abhari and Gholinezhad, 2019). مجموع مقدار آب آبیاری اندازه‌گیری شده و مقدار بارندگی مؤثر در طول فصل رشد تحت عنوان مقدار آب مصرفی (که تقریباً معادل تبخیر و تعرق گیاه می‌باشد) محاسبه شد (جدول ۴). مقدار بارندگی مؤثر ماهانه در طول دوره رشد گیاه با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Ghureshi *et al.*, 1997).

(رابطه ۲) ۱۲۵ / [(بارندگی کل×۰/۲ – ۱۲۵) بارندگی کل] = بارندگی موثر ماهانه

جدول ۴- مقدار آب مصرفی و تعداد دفعات آبیاری

Table 4. Amount of water used and number of irrigations

		2016-2017	۱۳۹۵-۹۶	2017-2018	۱۳۹۶-۹۷
Irrigation treatments	تیمارهای آبیاری	مقدار آب مصرفی Amount of water used ($m^3.ha^{-1}$)	تعداد آبیاری Number of irrigations	مقدار آب مصرفی Amount of water used ($m^3.ha^{-1}$)	تعداد آبیاری Number of irrigations
80% FC (Normal)	۸۰ درصد ظرفیت مزرعه	3674	5	3716	3
30% FC (Stress)	۳۰ درصد ظرفیت مزرعه	3302	2	3499	1

Amount of water used= Irrigation water + Effective rainfall مقدار آب مصرفی= آب آبیاری+ بارندگی مؤثر

تجزیه داده‌ها بعد از انجام آزمون بارتلت و اثبات همگن بودن واریانس خطای آزمایشی و با در نظر گرفتن سال به‌عنوان متغیر تصادفی انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها براساس امید ریاضی منابع تغییر با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver.9.1 به‌صورت مرکب و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال بر کلیه صفات مورد ارزیابی معنی‌دار بود. براساس اطلاعات جدول ۱ میزان بارندگی در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ به‌ترتیب ۴۱۶/۳ و ۴۸۷/۶ میلی‌متر بود که به‌ترتیب ۷۶/۴ و ۵/۱ میلی‌متر کمتر از میانگین بلندمدت بارندگی محل اجرای

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

آزمایش(۴۹۲/۷ میلی‌متر) بود و هر دو سال زراعی، سال‌های خشک محسوب می‌شوند.

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، تنش خشکی، عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک، برهمکنش سال در اسید سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل برگ معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل (۱/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار بدون تنش حاصل شد و تنش خشکی باعث کاهش ۱۲ درصدی کلروفیل برگ شد. این موضوع می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز در شرایط تنش خشکی باشد (Yang *et al.*, 2016). محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باعث افزایش معنی‌دار (۱۵ درصد) محتوای کلروفیل برگ نسبت به تیمار عدم مصرف شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که در سال اول میزان کلروفیل برگ در کلیه غلظت‌های اسیدسالیسیلیک بالاترین مقدار را داشت و در سال دوم غلظت‌های یک و ۱/۵ میلی مولار بیشترین میزان کلروفیل برگ را داشتند (جدول ۵). نتایج تحقیقات نشان داده است که تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی کلزا باعث کاهش میزان کلروفیل a و b شد، اما محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۱۱ درصدی میزان کلروفیل گردید (Mohammadi *et al.*, 2019). اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند در ارتباط با متابولیسم نیتروژن بافت‌ها و بیوسنتز کلروفیل باشد (Shi *et al.*, 2006). گزارش شده است که مصرف عناصر ریزمغذی باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل در کلزا شد (Khodabin *et al.*, 2019). به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از طریق جبران کمبود عناصر، بویژه آهن، باعث افزایش کلروفیل برگ شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نیز از طریق افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز، باعث حفاظت از گیاه در مقابل صدمات واکنش‌های اکسیداتیو گردیده است (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرهای سال، عناصر ریزمغذی و اسیدسالیسیلیک و برهمکنش سال در آبیاری بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ معنی‌دار بودند.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سال دوم محتوای کاروتنوئیدها نسبت به سال اول بیشتر بود. تیمار محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باعث افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئیدها شده و بالاترین میزان کاروتنوئیدها (۰/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بدست آمد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار محتوای کاروتنوئیدها شد، بطوریکه با افزایش سطوح اسیدسالیسیلیک، محتوای کاروتنوئیدها بطور پلکانی افزایش یافته و بیشترین میزان کاروتنوئیدها (۰/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک حاصل شد که نسبت به عدم مصرف آن ۲۸ درصد بیشتر بود (جدول ۵). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان کاروتنوئیدهای برگ می‌شود (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2017). اسید سالیسیلیک از طریق کاهش سطح رونویسی ژن‌های مرتبط با پیری مانند *SAG102* باعث افزایش میزان کارتنوئیدها می‌شود (Morris *et al.*, 2000). آهن نیز یک عنصری ضروری برای رشد و نمو گیاهان است و در سنتز کلروفیل، تکامل تیلاکوئیدها و نمو کلروپلاست‌ها دخالت دارد (Marschner, 2012). کمبود آهن در گیاه ضمن کاهش نمو کلروپلاست، با کاهش محسوس کاروتنوئیدها همراه است (Fathi Amirkhiz *et al.*, 2015). محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با برطرف کردن کمبود آهن خاک و افزایش جذب آهن و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با افزایش سنتز کارتنوئیدها، باعث افزایش محتوای کاروتنوئیدها می‌شوند.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

جدول ۵ – مقایسه میانگین صفات گیاهی کانولا در تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک

Table 5. Mean comparison of plant traits of canola in irrigation and foliar application of micronutrients and salicylic acid treatments

سال Year	کلروفیل Chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئیدها Carotenoids ($mg.g^{-1}$ FW)	پراکسیداز Peroxidase ($\mu mol.mg^{-1}$ FW)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد دانه در خورجین No. Seed.silque^{-1}
2016-2017 ۱۳۹۵-۹۶	1.78b	0.39b	3.13a	3004b	20b
2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷	1.84a	0.41a	2.98b	3704a	22a

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	کلروفیل Chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)	پراکسیداز Peroxidase ($\mu mol.mg^{-1}$ FW)
80% FC (Normal) ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه	1.93a	2.70b
30% FC (Stress) ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه	1.70b	3.43a

عناصر ریزمغذی Micronutrient	کلروفیل Chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئیدها Carotenoids ($mg.g^{-1}$ FW)
No application عدم محلول‌پاشی	1.69b	0.38b
Foliar application (2‰) محلول‌پاشی	1.94a	0.42a

اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	کاروتنوئیدها Carotenoids ($mg.g^{-1}$ FW)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	روغن دانه Seed oil content (%)	تعداد دانه در خورجین No. Seed.silque^{-1}
0 (Control) صفر	0.36c	2961c	39.8b	20c
0.5 ۰/۵	0.38b	3283b	40.9a	21bc
1 یک	0.42a	3518a	41.7a	22ab
1.5 ۱/۵	0.43a	3653a	41.5a	22a

اسید سالیسیلیک Salicylic acid	کلروفیل Chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)	
	2016-2017 ۱۳۹۵-۹۶	2017-2018 ۱۳۹۶-۹۷
0 (Control) صفر	1.54b	1.65c
0.5 ۰/۵	1.87a	1.80b
1 یک	1.90a	1.94a
1.5 ۱/۵	1.82a	1.98a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرهای سال، آبیاری، برهمکنش سال در اسید سالیسیلیک، برهمکنش سال در آبیاری در اسید سالیسیلیک و سال در عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک و برهمکنش سال در آبیاری در عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بودند.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار تنش خشکی در سال اول (۱۵ درصد) و در سال دوم (۱۸ درصد) نسبت به تیمار بدون تنش بیشتر بود. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۴ میکرومول در میلی‌گرم وزن تر) در سال اول در ترکیب تیماری بدون تنش+ عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ($A_2B_1C_3$) و کمترین مقدار آن (۲/۴۵ میکرومول در میلی‌گرم وزن تر) در ترکیب تیماری بدون تنش+ عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ($A_1B_1C_4$) بدست آمد. در سال دوم بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (۳/۶۹ میکرومول در میلی‌گرم وزن تر) در ترکیب تیماری (تنش خشکی+

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ($A_2B_2C_3$) و کمترین مقدار آن (۲/۳۴ میکرومول در میلی‌گرم وزن تر) در ترکیب تیماری بدون تنش+ محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ($A_1B_2C_1$) بدست آمد. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی مولار در هر دو سال آزمایش یکسان بود، ولی عناصر ریزمغذی اثر متفاوتی داشتند (جدول ۶). نتایج یک آزمایش نیز نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز برگ سه رقم کلزا گردید (Hatamvand *et al.*, 2014). آنزیم پراکسیداز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن در گیاهان است که حاوی آهن بوده و فعالیت آنها تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد (Marschner, 2012). در شرایط تنش ممکن است ظرفیت آنزیم پراکسیداز جهت از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال کافی نباشد و از اثرات تخریبی تنش اکسیداتیو به خوبی ممانعت نشود؛ بنابراین ساخت مولکول‌های پیام‌رسان، نقش مهمی در درک واکنش‌های گیاه به تنش‌های محیطی دارد. در چنین شرایطی مصرف خارجی مولکول‌های پیام‌رسان چون اسید سالیسیلیک تاثیر زیادی در بهبود تحمل گیاهان به تنش خواهد داشت (Siibi *et al.*, 2014). گزارش شده است که تیمار اسید سالیسلیک باعث افزایش معنی‌دار آنزیم پراکسیداز در گیاه کلزا شد (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2019).

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات گیاهی کانولا در برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک

Table 6. Mean comparison of plant traits of canola in interaction effect of irrigation and foliar application of micronutrients and salicylic acid treatments

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	عناصر ریزمغذی Micronutrients	اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)	پراکسیداز Peroxidase (μmol.mg^{-1} FW) ۱۳۹۵-۹۶ 2016-2017	پراکسیداز Peroxidase (μmol.mg^{-1} FW) ۱۳۹۶-۹۷ 2017-2018	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1}) ۱۳۹۵-۹۶ 2016-2017	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1}) ۱۳۹۶-۹۷ 2017-2018
۸۰ درصد ظرفیت مزرعه 80% FC (Normal)	عدم محلول‌پاشی No application	صفر 0	2.70gh	2.46ij	3143de	3520efg
		۰/۵ 0.5	2.97efg	2.74fghi	3414cd	3824cdef
		یک 1	2.81g	2.87efg	3679bc	3917cde
		۱/۵ 1.5	2.45h	2.81fgh	3497cd	4121bcd
	محلول‌پاشی Foliar application (2‰)	صفر 0	2.68gh	2.34j	3430cd	3841cdef
		۰/۵ 0.5	2.87fg	2.51hij	3760bc	4212bc
		یک 1	2.90fg	2.69fghi	4003ab	4956a
		۱/۵ 1.5	2.64gh	2.60ghij	4425a	4483ab
۳۰ درصد ظرفیت مزرعه 30% FC (Stress)	عدم محلول‌پاشی No application	صفر 0	3.18def	3.00def	1830i	2580i
		۰/۵ 0.5	3.58bc	3.15cde	1990hi	2806hi
		یک 1	4.00a	3.37abc	2163hi	3050ghi
		۱/۵ 1.5	3.37bcd	3.61ab	2376gh	3350fg
	محلول‌پاشی Foliar application (2‰)	صفر 0	3.28cde	3.21cd	2217ghi	3126gh
		۰/۵ 0.5	3.53bc	3.32bcd	2598fg	3663def
		یک 1	3.70ab	3.69a	2645fg	3729cdef
		۱/۵ 1.5	3.45bcd	3.41abc	2895ef	4082bcd

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اسیدسالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و اثرهای

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

سال، آبیاری و برهمکنش آبیاری در اسید سالیسیلیک و برهمکنش سال در آبیاری در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که برهمکنش تنش خشکی در اسید سالیسیلیک باعث کاهش ۲۰/۴درصدی تعداد خورجین در بوته شد. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار تعداد خورجین در بوته شدکه غلظت بهینه اسید سالیسیلیک در شرایط بدون تنش یک و در شرایط تنش ۰/۵ میلی‌مولار بود (جدول ۷). تعداد خورجین در بوته در بین اجزای عملکرد دانه به تنش خشکی حساسیت بیشتری دارد. محدودیت آب در مرحله گل‌دهی باعث ریزش گل‌ها، سقط گل‌ها و کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود (Jaberi *at al.*, 2015). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار (۱۳ درصد) تعداد خورجین در بوته شد (Ezzati *et al.*, 2019). به‌نظر می‌رسد که با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تاحدودی حفظ تعادل آب در گیاه برقرار شده و شرایط برای تلقیح گل‌های بیشتری فراهم شده و درنتیجه تعداد واحدهای زایشی در گیاه افزایش می‌یابد (Cheraghi *et al.*, 2015).

جدول ۷- مقایسه میانگین اجزای عملکرد کانولا در برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

Table 7. Means comparison of yield components of canola in interaction effect of irrigation and foliar application of salicylic acid treatments

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments		اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)		تعداد خورجین در بوته No. silque.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000 Seed weight (g)
80% FC (Normal)	۸۰ درصد ظرفیت مزرعه	0	صفر	92b	4.13b
		0.5	۰/۵	95b	4.26a
		1	یک	102a	4.04bc
		1.5	۱/۵	103a	3.86c
30% FC (Stress)	۳۰ درصد ظرفیت مزرعه	0	صفر	76d	3.35f
		0.5	۰/۵	79cd	3.57e
		1	یک	80c	3.82d
		1.5	۱/۵	80c	3.76d

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرهای سال و اسید سالیسیلیک و برهمکنش سال در آبیاری در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سال در عناصر ریزمغذی در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سال دوم (۲۲/۴) تعداد دانه در خورجین بیشتری نسبت به سال اول (۲۰/۸) تولید شد. به‌نظر می‌رسد که علت بیشتر بودن تعداد دانه در خورجین در سال دوم به بیشتر بودن میزان بارندگی و پراکنش بهتر آن و هم‌چنین بیشتر بودن ساعات آفتابی (برتری ۵۶ درصد میزان بارندگی و ۱۱ درصدی تعداد ساعات آفتابی نسبت به سال اول) در مراحل زایشی گیاه مرتبط دانست (جدول ۱). گزارش‌ها حاکی از کاهش تعداد دانه در خورجین گیاه کلزا در اثر تنش خشکی است (Ezzati *et al.*, 2019). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در خورجین شد. در غلظت‌های یک و ۱/۵ میلی‌مولار بیشترین تعداد دانه در خورجین تولید شد

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

(جدول۷). نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف اسید سالیسیلیک باعث افزایش مثبت و معنی‌دار (۹ درصد) تعداد دانه در خورجین در کلزا شد (Ezzati *et al.*, 2019). این موضوع به اثر بهبود دهنده اسید سالیسیلیک همراه با سایر هورمون‌ها نسبت داده شده است (Keshavarz and Modares Sanavi, 2014).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرهای سال، اسید سالیسیلیک و برهمکنش سال در آبیاری، آبیاری در عناصر ریزمغذی، آبیاری در اسید سالیسیلیک و سال در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ۱۶ درصدی وزن هزار دانه شده و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در هر دو شرایط بدون تنش (۳درصد) و تنش (۱۰ درصد) شد (جدول ۸). نتایج نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۴/۲۶ گرم) در تیمار بدون تنش و محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک حاصل شد و در غلظت‌های بیشتر، وزن هزار دانه کاهش یافت، اما در تیمار تنش اثر مثبت اسید سالیسیلیک مشهودتر بود و تا غلظت یک میلی‌مولار وزن هزار دانه افزایش یافت (جدول ۷). گزارش شده است که مصرف سالیسیلیک اسید باعث افزایش معنی‌دار وزن صد دانه در گیاه کلزا گردید (Keshavarz and Modares Sanavi. 2014). نتایج نشان داد که کمترین وزن هزار دانه در تیمار عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک و بیشترین وزن هزار دانه در تیمار همزمان عناصر ریزمغذی و غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک حاصل شدند (جدول ۹). نتایج یک آزمایش در کلزا نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (3/2 گرم) در تیمار محلول‌پاشی با روی و آهن بدست آمد (Khodabin *et al.*, 2019). تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی از طریق اختلال در فتوسنتز و کاهش سنتز مواد پرورده، باعث چروکیدگی و کاهش وزن هزار دانه در کلزا می‌شود (Pasban Eslam, 2015). افزایش وزن هزار دانه را می‌توان به‌دلیل اثرات مفید اسید سالیسیلیک اسید در افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال بیشتر مواد پرورده به دانه‌ها در طول دوره پرشدن دانه ها نسبت داد (Ashraf *et al.*, 2002).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرهای سال و اسید سالیسیلیک و برهمکنش سال در آبیاری و سال در عناصر ریزمغذی، برهم‌کنش سال در عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک و برهم‌کنش سال در آبیاری در عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در سال اول بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۴۲۴ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار بدون تنش+

جدول ۸- مقایسه میانگین وزن هزار دانه کانولا در برهمکنش تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی

Table 8. Means comparison of 1000 seed weight of canola in interaction effect of irrigation and foliar application of micronutrients treatments

Irrigation treatments	تیمارهای آبیاری	Micronutrients	عناصر ریزمغذی	1000 Seed weight (g)	وزن هزار دانه
80% FC (Normal)	۸۰ درصد ظرفیت مزرعه	No application	عدم محلول‌پاشی	4.03b	
		Foliar application (2‰)	محلول‌پاشی	4.17a	
30% FC (Stress)	۳۰ درصد ظرفیت مزرعه	No application	عدم محلول‌پاشی	3.47d	
		Foliar application (2‰)	محلول‌پاشی	3.83c	

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

جدول ۹- مقایسه میانگین وزن هزار دانه کانولا در برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک

Table 9. Means comparison of 1000 seed weight of canola in interaction effect of foliar application of micronutrients and salicylic acid treatments

Micronutrients	عناصر ریزمغذی	اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)		وزن هزار دانه 1000 Seed weight (g)
No application	عدم محلول‌پاشی	0	صفر	3.62c
		0.5	۰/۵	3.75b
		1	یک	3.81b
		1.5	۱/۵	3.82b
Foliar application (2‰)	محلول‌پاشی	0	صفر	3.85b
		0.5	۰/۵	4.09a
		1	یک	4.05a
		1.5	۱/۵	4.01a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ($A_1B_2C_4$) و کم‌ترین عملکرد دانه (۱۸۲۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار تنش خشکی+ عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ($A_2B_1C_1$) بود (جدول ۶). در سال دوم بیش‌ترین عملکرد دانه (۴۹۵۵ کیلوگرم در هکتار) از ترکیب تیماری بدون تنش+ محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ($A_1B_2C_3$) و کم‌ترین عملکرد دانه (۲۵۸۰ کیلوگرم در هکتار) نیز به ترکیب تیماری تنش خشکی+ عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ($A_2B_1C_1$) تعلق داشت (جدول ۶). تنش خشکی باعث کاهش ۴۲ درصد عملکرد دانه در سال اول و ۲۷ درصد در سال دوم شد، اما محلول‌پاشی همزمان اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی ضمن کاهش اثرات منفی تنش خشکی، باعث افزایش عملکرد دانه به‌مقدار ۱۰۶۴ کیلوگرم (۵۹ درصد) در سال اول و ۱۵۰۱ کیلوگرم در هکتار (۵۸ درصد) در سال دوم شد (جدول ۶)

گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک از طریق افزایش در محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های برگ و کاهش پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید، اثرات منفی تنش را تا حدی برطرف نموده و باعث افزایش ۳۱ درصدی عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در مرحله خورجین‌دهی کلزا شد (Mohammadi *et al.*, 2019). تنش خشکی باعث کاهش رشد گیاه و عملکرد دانه کلزا شده، ولی استفاده از کود مرکب آهن، روی و منگنز تا ۳۵ درصد کاهش عملکرد را جبران کرد (Payendeh *et al.*, 2020). به‌نظر می‌رسد که عنصر منگنز بطور مستقیم از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و بطور غیرمستقیم از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن (Marschner, 2012)، عنصر روی بطور مستقیم از طریق سنتز پروتئین‌ها در لوله گرده و به‌طور غیرمستقیم از طریق تأثیر در مقدار و ترکیب شهد گل‌ها و جذب حشرات گرده‌افشان در تلقیح گل‌ها نقش دارد (Borg and Berger, 2015). عنصر آهن از طریق افزایش تولید کلروفیل، افزایش طول دوره فتوسنتز و بهبود تولید کربوهیدرات‌ها و انتقال آن برای رشد دانه‌ها (Marschner, 2012)، باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. در آزمایش حاضر نیز محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک ضمن افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی، از طریق بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه از جمله افزایش رنگدانه‌های

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

فتوسنتزی، باعث مساعدتر شدن شرایط برای رشد گیاه شده و با افزایش اجزای عملکرد دانه، باعث افزایش عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی شد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر اصلی اسید سالیسیلیک و برهمکنش سال، آبیاری و اسید سالیسیلیک بر میزان روغن دانه معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان روغن دانه شد. کمترین میزان روغن دانه (۳۹/۸ درصد) در تیمار عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و بیشترین میزان روغن دانه (۴۱/۷ درصد) در غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بدست آمد (جدول ۵). گزارش شده است که تنش خشکی هرچند باعث افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود، اما باعث کاهش عملکرد دانه و میزان روغن دانه کلزا می‌شود. گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای آب، یکپارچگی غشاها و کلروفیل، باعث بهبود عملکرد دانه و میزان روغن دانه کلزا شد (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2019).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، اسید سالیسیلیک، برهمکنش عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک و برهمکنش سال در آبیاری در اسید سالیسیلیک بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد روغن (۲۰۹۵ کیلوگرم در هکتار) از ترکیب تیماری بدون تنش و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین عملکرد روغن (۸۰۳ کیلوگرم در هکتار) از ترکیب تیماری تنش خشکی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک حاصل شدند. بر اساس نتایج، تنش خشکی باعث کاهش ۴۲ درصدی عملکرد روغن دانه شد، اما محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد روغن در هر دو تیمار بدون تنش و تنش خشکی گردیده و عملکرد روغن در شرایط بدون تنش ۴۸ درصد و در شرایط تنش حدود ۸۰ درصد افزایش یافتند (جدول ۱۰).

تنش خشکی در مرحله گل‌دهی به‌واسطه اکسیداسیون برخی اسیدهای چرب غیراشباع و کاهش قابلیت تبدیل هیدارت‌های کربن به روغن، باعث کاهش میزان روغن دانه و عملکرد روغن در کلزا می‌شود (Siddique *et al.*, 2008). نتایج یک آزمایش نشان داد که مصرف عناصر ریزمغذی باعث افزایش معنی‌دار میزان روغن دانه و عملکرد روغن در کلزا شد و بیشترین عملکرد روغن، وزن هزار دانه و عملکرد زیستی در تیمار مصرف هم‌زمان دو عنصر روی و منگنز حاصل شد (Khodabin *et al.*, 2019). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نیز باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن کلزا شد (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2019). هدف اصلی از زراعت کلزا استحصال روغن است، بنابراین عملکرد روغن اهمیت بیشتری نسبت به میزان روغن دانه دارد. دلیل این موضوع کنترل بیشتر میزان روغن دانه توسط عوامل ژنتیکی و تأثیر پذیری بالای عملکرد روغن از تغییرات عملکرد دانه، نسبت به درصد روغن، است. در این زمینه گزارش شده است که در ارزیابی عملکرد روغن کلزا، عملکرد روغن دانه کلزا در واحد سطح بیشتر تابع عملکرد دانه است و افزایش عملکرد دانه سبب ارتقاء عملکرد روغن دانه در هکتار می‌گردد (Khodabin *et al.*, 2019).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرهای سال و اسید سالیسیلیک، برهمکنش سال در آبیاری و عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک و برهمکنش آبیاری در عناصر ریزمغذی در اسید سالیسیلیک بر بهره‌وری آب معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار (۲۸ درصد) بهره‌وری آب گردید. بالاترین بهره‌وری آب (۱/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب) به ترکیب تیماری

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

بدون تنش+ محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی+ غلظت ۱/۵

جدول ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد روغن و بهره‌وری آب کانولا در برهمکنش تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک

Table 10. Means comparison of oil yield and water productivity of canola in interaction effect of irrigation and foliar application of micronutrients and salicylic acid treatments

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	عناصر ریزمغذی Micronutrients	اسید سالیسیلیک Salicylic acid (mM)		عملکرد روغن Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	بهره‌وری آب Water productivity ($kg.m^{-3}$)
۸۰ درصد ظرفیت مزرعه 80% FC (Normal)	عدم محلول‌پاشی No application	0	صفر	1377de	0.89gh
		0.5	۰/۵	1560cd	0.97def
		1	یک	1687bc	1.04cd
		1.5	۱/۵	1557cd	0.99cde
	محلول‌پاشی Foliar application (2‰)	0	صفر	1575cd	0.97def
		0.5	۰/۵	1726bc	1.06bc
		1	یک	1908ab	1.13b
		1.5	۱/۵	2095a	1.26a
۳۰ درصد ظرفیت مزرعه 30% FC (Stress)	عدم محلول‌پاشی No application	0	صفر	803i	0.64k
		0.5	۰/۵	924hi	0.70jk
		1	یک	1023ghi	0.76ij
		1.5	۱/۵	1089fgh	0.83hi
	محلول‌پاشی Foliar application (2‰)	0	صفر	1019ghi	0.78i
		0.5	۰/۵	1224efg	0.91fg
		1	یک	1265ef	0.93fg
		1.5	۱/۵	1449de	1.01cd

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Tukey's test

میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ($A_1B_2C_4$) و پایین‌ترین بهره‌وری آب (۰/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب) از ترکیب تیماری تنش خشکی+ عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک ($A_2B_1C_1$) حاصل شد. نتایج یک آزمایش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار بهره‌وری آب در سه رقم کلزا گردید (Sadeghinejad *et al.*, 2014). محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک باعث افزایش بهره‌وری آب در هر دو شرایط تنش (۳۶ درصد) و بدون تنش (۲۹ درصد) گردید. به‌نظر می‌رسد که اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک در تیمار تنش خشکی نسبت به شرایط شاهد، موثرتر بوده است (جدول ۱۰). با در نظر گرفتن رابطه بهره‌وری آب، استفاده از هر عامل مدیریتی که باعث بهبود عملکرد شود، افزایش بهره‌وری آب را به دنبال خواهد داشت. عوامل متعددی از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، عملکرد دانه و میزان تلفات آب از گیاه را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه بهره‌وری آب را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Ritchie and Basso, 2007). محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن باعث افزایش بهره‌وری آب در گیاه کلزا شد و گزارش شد که این موضوع می‌تواند مربوط به نقش روی در هدایت روزنه‌ای باشد. از طرف دیگر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از طریق افزایش عملکرد دانه باعث افزایش بهره‌وری آب در کلزا می‌شود (Khodabin *et al.*, 2019). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش بهره‌وری آب در گیاه جو در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی شد

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

(Abhari and Gholinezhad, 2019).

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که تنش خشکی، باعث کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، تعداد خورجین در بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد. تعداد خورجین در بوته با کاهش ۲۰/۴ درصدی در بین اجزای عملکرد، بیشترین حساسیت را به تنش خشکی داشت. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی تا حدی باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر صفات گیاهی کانولا شده و با افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه را در سال اول، در شرایط بدون تنش ۱۲۸۱ کیلوگرم و در شرایط تنش ۱۰۶۴ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم در شرایط بدون تنش ۱۴۳۵ کیلوگرم و در شرایط تنش ۱۵۰۱ کیلوگرم در هکتار افزایش دادند. براساس نتایج آزمایش حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگرچه خسارت ناشی از محدودیت آب، به‌ویژه در مراحل ساقه‌روی و گل‌دهی، به‌طور کامل از طریق محلول‌پاشی قابل جبران نیست، اما بهبود معنی‌دار عملکرد دانه با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک، مقابله با محدودیت آب را تا حد زیادی در دستیابی به عملکرد اقتصادی کانولا امکان‌پذیر می‌سازد. بنابراین محلولپاشی عناصر ریزمغذی آهن+ روی+ منگنز با غلظت دو در هزار همراه با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید جهت کاهش اثرات سوء تنش خشکی و حصول عملکرد مناسب در زراعت کانولا قابل توصیه است.

منابع مورد استفاده

References

Abhari, A. and E. Gholinezhad. 2019. The effect of salicylic acid foliar application on barley water use efficiency in cut-off condition. Iran. J. Field Crop Sci. 17(2): 157-167. (In Persian with English abstract).

Akbari, J. and A. Maleki. 2018. The effect of ascorbic acid and salicylic acid foliar application on vegetative properties and yield and yield components of *Vigna unguiculata* L. under drought stress. Plant Ecophysiol. Res. 4 (2):159-180. (In Persian with English abstract).

Alizadeh, A. 2002. Drought and the need for management in water consumption. J. Drought Agric. Drought. 3: 3-7. (In Persian).

Anonymous, 2015. Instructions for rapeseed cultivation using French winter hybrid cultivars. Ministry of Jihad Agriculture. Agricultural Support Services organization. (In Persian).

Ashraf, M., F. Karim and E. Rasul. 2002. Interactive effects of gibberellic acid (GA) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. J. Plant Growth Regul. 36(1): 49- 59.

Assefa, Y., P. V. Vara-Prasad, C. Foster, Y. Wright, S. Young, P. Bradley, M. Stamm and I. A. Ciampitti. 2017. Major management factors determining spring and winter canola yield in North America. Crop Sci. 58: 1-16.

Borg, M. and F. Berger. 2015. Chromatin remodeling during male gametophyte development. Plant. J. 83 (1): 177-188.

Chance, B. and A. C. Maehly. 1955. Assay of catalase and peroxidase. Method. Enzymol. 2: 764-817.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

Cheraghi, A. M., N. Sajedi and M. Gomarian. 2015. Response of agronomic, physiological and quality characteristics of rainfed chickpea to salicylic acid and selenium. J. Pulse. Res. 5(2): 31-42. (In Persian with English abstract).

Ezzati, N., A. Maleki and A. Fathi. 2019. The effect of drought stress and foliar application of gibberellic acid and salicylic acid on quantitative and qualitative yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). J. Plant Environ. Physiol. 56 (4): 94-109. (In Persian with English abstract).

FAO, 2018. Food Outlook. Global Market Analysis. http://www.fao.foodoutlook.com

Fathi Amirkhiz, K., M. Amini Dehaghi and S. Heshmati. 2015. Effect of iron chelate on chlorophyll content, quantum efficiency of photosystem II and some biochemical traits in safflower under dehydrated conditions. Iran. J. Field Crop Sci. 46 (1): 137-145. (In Persian with English abstract).

Ghassemi-Golezani, K., H. M. Bilasvar, A. Dabbagh Mohammadinasab. 2019. Improving rapeseed (*Brassica napus* L.) plant performance by exogenous salicylic acid and putrescine under gradual water deficit. Acta Physiol Plant. 41: 1-8.

Ghureshi, A. A., M. R. Shariati, R. Jaralahi, M. R. Qhaemi, M. Shahiaiefar and M. M. Tulai. 1997. Estimation of water requirements of major agricultural and horticultural plants of the country (Volume I). Publications of the Ministry of Jihad Agriculture. (In Persian).

Hatamvand, M., M. T. Hassanloo, F. Dehghan Nairi and A. H. Shirani Rad. 2014. Effect of drought stress on catalase, peroxidase and leaf protein content of three rapeseed cultivars. 1st International and 13th National Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference. Aug. 26-28, 2014. Seed and Plant Institute of Iran, Karaj, Iran. (In Persian with English abstract).

Jaberi, H., B. Lotfi, T. Jamshidnia, A. Fathi, R. Olad and A. Abdollahi. 2015. Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. Scientia. 12(3):144-148.

Kalantar Ahmadi, S. A., A. Ebadi, J. Daneshian, S. A. Siadat and S. Jahanbakhsh. 2017. Effect of drought stress and foliar application of growth regulators on photosynthetic pigments and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) cv. Hyola401. Iran. J. Crop Sci. 18(3): 196-217. (In Persian with English abstract).

Keerthi, P., R. K. Pannu and A. K. Dhaka. 2017. Effect of sowing dates and nitrogen levels on total dry matter and its partitioning at different growth stages and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). Agric. Sci. Digest. 37 (1): 27-31.

Keshavarz, H. and S. A. M. Modares Sanavi. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two rapeseed cultivars. J. Crop Prod. 39: 161-171. (In Persian with English abstract).

Khademi, Z., H. Rezaei, M. J. Malakouti and P. Mohajer Milani. 2001. Optimal nutrition of canola is an important step in increasing yield and improving oil quality (fertilizer recommendation for producers in Iranian soils). Agriculture Education Publication. Karaj, Iran. (In Persian).

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

Khodabin, Q., Z. Tahmasebi Sarvestani, A. H. Shirani Rad, S. A. M. Modares Sanavi and A. Bakhshande. 2019. The effect of irrigation cut-off and foliar application of zinc and manganese on yield and ecophysiological traits of rapeseed. Iran. J. Field Crops Res. 18 (1):100-85. (In Persian with English abstract).

Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Method. Enzymol. 148: 350-382.

Majidi, M. M., M. Jafarzadeh, F. Rashidi and A. Mirlohi. 2015. Effect of drought stress on yield and some physiological traits in canola varieties. J. Plant Proc. Func. 3(9): 59-70. (In Persian with English abstract).

Marschner, P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. (3rd Ed.). USA.

Mohammadi. H., R. Javadzadeh, B. Pasban Islam and L. Parviz. 2019. Investigation of the effects of drought stress and salicylic acid on growth and physiological parameters of four spring rapeseed cultivars. Iran. J. Field Crops Res. 14 (4): 807-819. (In Persian with English abstract).

Morris, K., S. A. Mc Kerness, T. Page, C. F. John, A. M. Murphy, J. P. Carr and V. Buchanan-Wollaston. 2000. Salicylic acid has a role in regulating gene expression during leaf senescence. J. Plant. 23: 677-685.

Payendeh, Kh., M. Mujaddam and N. Droudgar. 2020. Study of quality and yield of rapeseed seed Hayola401 with composite fertilizers of iron, zinc and manganese under irrigation stress. J. Environ. Stress. Agric. Sci. 13 (1): 109-119 .(In Persian with English abstract).

Pasban Eslam, B. 2015. Stability of grain and oil yields and its components in oilseed rape (*Brassica napus* L.) under early and late season drought. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 25(4): 177-187. (In Persian).

Ritchie, J. T. and B. Basso. 2007. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: The role of agronomic management. Eur. J. of Agron. 28 (3): 273-281.

Sadeghinejad, A. A., S. A. M. Modarres Sanavi, S. A. Tabatabaei and S. M. Modares Vameghi. 2014. Effect of water deficit stress at various growth stages on yield, yield components and water use efficiency of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Water Soil Sci. 24 (2): 53-64. (In Persian with English abstract).

Siddique, Z. S., M. Ajmal Khan, B. Gikim and J. S. Hunag. 2008. Physiological responses of *Brassica napus* genotypes to combines drought and salt stress. Plant Stress. 2(1): 78-83.

Siibi, M., M. Mirzakhani, M. Gamariyan and S. H. Yaghoubi. 2014. Effect of water shortage and salicylic acid consumption on oil yield and some physiological characteristics of sunflower cultivars (*Helianthus annuus* L). Iran. J. Field Crop Sci. 45(1) :1-14. (In Persian with English abstract).

Shi, Q., Z. Bao, Z. Zhu, Q. Ying and Q. Qian. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. Plant Growth Reg. 39: 137-141.

Yang, N., C. L. Wang, W. P. He, Y. Z. Qu and Y. S. Li. 2016. Photosynthetic characteristics and effects of exogenous glycine of *Chorispora bungeana* under drought stress. Photosynthetica, 54: 459-467.

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]

Effect of foliar application of micronutrients and salicylic acid on seed and oil yield of canola (*Brassica napus* L. cv. Neptune) under drought stress conditions

Mir, Y.[1], H. Khosravi[2], M. Daneshvar[3] and A. Ismaili[4]

ABSTRACT

Mir, Y., H. Khosravi, M. Daneshvar and A. Ismaili. 2021. Effect of foliar application of micronutrients and salicylic acid on seed and oil yield of canola (*Brassica napus* L. cv. Neptune) under drought stress conditions**. Iranian Journal of Crop Sciences. 24(3): 285-301. (In Persian).**

To investigate the effect of foliar application of micronutrients and salicylic acid on seed and oil yield of canola under drought stress conditions, a field experiment was carried out as spilt factorial plots arrangemnts in randomized complet block design in 2016-17 and 2017-18 cropping seasons in Lorestan University, Khorramabad, Iran. Experimental treatments included; irrigation at two levels: (A_1) irrigation at 80% of field capacity (non- stress) and (A_2) irrigation at 30% of field capacity (drought stress) assigned to main plots and foliar application of combination of iron, zinc and manganese elements at two levels: (B_1) zero, and (B_2) concentration of 2‰ and salicylic acid foliar application at four levels: (C_1) zero, (C_2) 0.5, one (C_3) and (C_4) 1.5 mM were randomized in sub-plots. The results showed that water deficit stress decreased total chlorophyll content (12%), Silque number per plant (20.4 silique.plant^{-1}) and increased peroxidase enzyme activity (22%). Application of micronutrients increased chlorophyll content (13%) and carotenoids (10%). Salicylic acid foliar application with concentration of 0.5 mM had the highest seed oil content (40.9%). The highest water productivity (1.26 kg.m^{-3}) was obtained in irrigation at 80% of the field capacity, foliar application of two per thousand concentration of iron, zinc and manganeze, and foliar application of 1.5 mM salicylic acid ($A_1B_2C_4$). In 2016-17, the highest seed yield (4427 kg.ha^{-1}) was obtained from the application of irrigation at 80% of the field capacity, foliar application of 2‰ micronutrients and foliar application of 1.5 mM salicylic acid ($A_1B_2C_4$). In 2017-18, the highest seed yield (4955 kg.ha^{-1}) was obtained irrigation at 80% of the field capacity, foliar application of 2‰ micronutrients and foliar application of one mM salicylic acid ($A_1B_2C_3$). The results showed that under drought stress conditions, simultaneous application of micronutrients and salicylic acid increased seed yield and significantly increased oil yield (1449 kg.ha^{-1}) as compared with control treatment (803 kg.ha^{-1}). Based on the results of this experiment, foliar application of iron, zinc, and manganese micronutrients together with 1.5 mM salicylic acid improved seed and oild yield of canola under drought stress conditions.

Key words: Canola, Drought stress, Micronutrients, Peroxidase and Water productivity

Received: April, 2022 Accepted: November, 2022

1. PhD Graduated, Lorestan University, Khorramabad, Iran (Corresponding author) (Email: Younesmir80@yahoo.com)
2. PhD Student, Lorestan University, Khorramabad, Iran
3. Assisstant Prof., Lorestan University. Khorramabad, Iran
4. Professor, Lorestan University, Khorramabad, Iran

[DOR: 20.1001.1.15625540.1401.24.3.6.1]