نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۳(۵۹)، پاییز ۱۴۰۰، صفحه ۳۷۶-۳۶۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.687070

اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و عناصر ریزمغذی بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و زراعی کلزا رقم نپتون در شرایط تنش کم آبی

یونس میر[1*]، ماشااله دانشور[2]، احمد اسماعیلی[3] و حامد خسروی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۴ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

چکیده

اثر محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و عناصر ریزمغذی بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و زراعی رقم نپتون کلزا در شرایط تنش کم‌آبی طی آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۹۵ در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان بررسی گردید. تنش کم‌آبی به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح [(آبیاری مجدد در ۲۰ (شاهد) و ۷۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی)] و ترکیب تیماری دو عامل محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (عدم مصرف و محلول‌پاشی با غلظت ۲ در هزار) و عامل سالیسیلیک اسید (غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که اثر تنش کم‌آبی و سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر کود ریزمغذی، به‌جز بر میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانت، بر سایر صفات مورد مطالعه نیز معنی‌دار به‌دست آمد. نتایج همچنین نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه بر صفات کاتالاز، پراکسیداز، پرولین، درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن معنی‌دار است. بیشترین میانگین درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن به‌ترتیب با مقدار ۴۶/۰۲ درصد، ۴۴۲۴ و ۲۰۳۶ کیلوگرم در هکتار از ترکیب تیماری (عدم تنش+ محلول‌پاشی ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و غلظت ۲ در هزار کود ریزمغذی) می‌باشند. نتایج این تحقیق بر اساس روند تغییرات میانگین‌ها، نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید و عناصر ریزمغذی اثر تنش کم‌آبی در گیاه کلزا را تا حدی کاهش می‌دهد. به‌طورکلی، باتوجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، برای کاهش اثرات منفی تنش کمبود آب و حصول عملکرد دانه مناسب، استفاده از کود ریزمغذی فرتی میکس سه‌گانه و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم آبی توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: پرولین، پراکسیداز، درصد روغن، کاتالاز.

۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان.خرم آباد. ایران.

۲- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان. خرم آباد. ایران.

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان. خرم آباد. ایران.

* نگارنده‌ی مسئول Younesmir80@yahoo.com

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) با دارا بودن ۴۴-۴۰ درصد روغن یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی محسوب می‌شود و پس از سویا و نخل روغنی، سومین گیاه روغنی یک‌ساله جهان محسوب می‌شود که به خاطر روغن خوراکی آن کشت می‌شود (Anonymous, 2013). کشت کلزا در سال‌های اخیر در کشور رواج گسترده‌ای پیدا نموده و توسعه زراعت آن نقطه امیدی برای تأمین قسمت عمده‌ای از روغن مورد نیاز کشور بوده که در حال حاضر حدود ۹۰ درصد روغن کشور وارداتی می‌باشد (Fatahinejad *et al*., 2013). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدود کننده تولید در گیاهان زراعی در سرتاسر جهان می‌باشد (Omidi *et al*., 2012). تنش خشکی به‌طور میانگین سبب کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه گیاهان زراعی در جهان می‌شود (Heidari and Karami, 2014). تنش خشکی نتایجی از قبیل بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در سرعت انتقال مواد غذایی در گیاهان، کاهش در پتانسیل آب بافت‌های گیاهی، کاهش در فتوسنتز و بازدارندگی از رشد، افزایش در تجمع اسید آبسیزیک، پرولین، مانیتول و سوربیتول، تشکیل رادیکال‌های مهارکننده (آسکوربات، گلوتاتیون و آلفاتوکوفرول)، سنتز پروتئین‌های جدید و mRNA را به همراه دارد (Arora *et al*., 2002). خسارت به گیاهان در اثر تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن که از تنش‌های محیطی متفاوت به‌دست می‌آید یکی از علل عمده از دست دادن بهره‌وری و حاصلخیزی گیاهان در سراسر جهان است. مکانیسم‌هایی که آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش می‌دهند، آنتی‌اکسیدان‌ها هستند که از اهمیت بسزایی در مقاومت گیاهان به تنش خشکی برخوردارند. گونه‌های فعال اکسیژن، شکل‌های فعالی از اکسیژن هستند که در مراحل حیاتی مانند تنفس نوری، فتوسنتز و تنفس تولید می‌شوند و می‌توانند شدیداً با بیومولکول‌های زیستی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک واکنش داده و پراکسیداسیون لیپید، دناتوره شدن پروتئین و جهش در DNA را سبب شوند که این امر به مختل شدن متابولیسم طبیعی گیاه و در نهایت مرگ سلول‌ها منجر می‌گردد (Pennycooke *et al*., 2004). گیاهانی که از سطوح بالاتری از آنتی‌اکسیدان‌ها برخوردار هستند، مقاومت بیشتری به آسیب‌های اکسیداتیو نشان می‌دهند. دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌ها هستند که باعث شکسته شدن پراکسید هیدروژن به آب و مولکول اکسیژن می‌شوند (Janda *et al*., 2005; Yong *et al*., 2008). آنزیم کاتالاز برای برخی انواع سلول‌ها تحت شرایط طبیعی الزامی بوده و نقش مهمی در کسب مقاومت در برابر تنش اکسایشی ایفا می‌کند (Breusegem *et al*., 2001). تجمع پرولین در شرایط پر تنش سبب حفظ وضعیت آبی گیاه شده و به‌عنوان یک محافظت‌کننده اسمزی باعث پایداری غشای سلولی نیز می‌گردد (Bhardwaj and Yada, 2012). افزایش در محتوی پرولین یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل به کم آبی در کلزا به شمار می‌رود و اعمال تنش اسمزی در سطح ۱/۵- مگاپاسکال سبب افزایش معنی‌دار محتوی پرولین در ریشه و ساقه ارقام کلزا شده است (Omidi, 2010).

عناصر ریزمغذی برای رشد طبیعی گیاهان مورد نیاز هستند و ضمن شرکت در ساختار بعضی از اندامک‌ها، در بسیاری از واکنش‌های

بیوشیمیایی دخالت دارند (Ravi *et al.*, 2008). برخی محققان گزارش نمودند که تحت کمبود عناصر ریزمغذی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت کاهش یافته و لذا حساسیت گیاه به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Cakmak *et al.*, 2010). عنصر روی یکی از ریزمغذی‌های ضروری برای گیاه است و نقش مهمی را در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی درون گیاه به عهده دارد (Alloway, 2008). روی در تشکیل اسید ایندول استیک دخالت و رشد گیاه را تنظیم می‌کند. به‌علاوه، روی باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها می‌شود، به‌طوری‌که برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها لازم و ضروری است (Pandey *et al.*, 2009). آهن یکی از عناصر غذایی ریزمغذی می‌باشد که در اعمال متابولیکی مثل تثبیت نیتروژن، ساخت کلروفیل و تیلاکوئید، توسعه کلروپلاست، تولید رنگدانه و به‌عنوان کاتالیزور در فعالیت‌های آنزیمی از جمله آنزیم‌های مسیر تنفس نوری و گلیکولات و آنزیم‌های تنظیم و کنترل تعرق گیاه شرکت دارد (Bernal *et al.*, 2007). منگنز در ترکیب آنزیم‌های فتوسنتزی و تنفسی نقش داشته و در متابولیسم گیاهی نقش فعالی دارد. در گیاهان مواجه با کمبود منگنز، جذب فسفر و کلسیم، میزان کلروفیل، فتوسنتز و مقدار روغن در بذر کاهش می‌یابد (Malekuti *et al.*, 2008).

سالیسیلیک اسید یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید (SA) از جمله ترکیبات فنولیکی است که نقش تنظیم‌کنندگی در فرآیندهای زیستی و بیوشیمیایی گیاهان دارد (Khan *et al.*, 2003). تنظیم‌کننده‌های رشدی چون سالیسیلیک اسید با ایجاد توازن در غلظت هورمون‌های گیاهی در کنترل پاسخ‌های گیاه به شرایط نامساعد نقش مهمی دارند (Pirasteh- Anosheh *et al.*, 2015).

نتایج تحقیقی در کلزا نشان داد که توقف آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه کلزا موجب کاهش ۳۵ و ۱۸ درصد عملکرد دانه شد (Godarzi *et al.*, 2017). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که تنش خشکی در مرحله زایشی کلزا باعث کاهش درصد روغن و افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود (Edvards and Hartel, 2011). امیدیان و همکاران (Omidian *et al.*, 2013) پی بردند که محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی روی (Zn) به‌نحو چشمگیری میزان روغن در گیاه کلزا را افزایش می‌دهد. نتایج مطالعات سعیدی و صادقی (Saeedi and Sadeghi, 2008) نشان‌دهنده آن است که مصرف آهن باعث افزایش درصد روغن در کلزا شده است. افزایش نیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و مصرف روی با افزایش میزان تبخیر سبب افزایش عملکرد دانه، روغن و پروتئین شد. محلول‌پاشی روی و سالیسیلیک اسید سبب افزایش درصد روغن و پروتئین دانه گردید. در مجموع، با کاربرد روی و سالیسیلیک اسید کاهش عملکرد در اثر تنش جبران شده و کیفیت دانه را افزایش دادند (Zarei *et al.*, 2016).

با توجه به گزارش‌های یاد شده، این پژوهش جهت بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و سالیسیلیک اسید و تغییرات احتمالی ناشی از تأثیر این مواد بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و عملکرد روغن گیاه کلزا رقم نپتون در شرایط تنش کم آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۹۵ در مزرعه کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در شهرستان خرم‌آباد به‌صورت آزمایش

اسپلیت پلات فاکتوریل با طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. قبل از کاشت به‌طور تصادفی در چندین نقطه مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه، نمونه مرکب تهیه و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه اقدام گردید (جدول ۱). تنش کم آبی به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح عدم تنش یا شاهد (آبیاری مجدد در ۲۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی) و تنش (آبیاری مجدد در ۷۰ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی) در نظر گرفته شد و در کرت‌های فرعی ترکیب تیماری دو عامل محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و عامل سالیسیلیک اسید اعمال گردید. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز (از منبع کود مایع فرتی میکس سه‌گانه بشرح جدول ۲) در دو سطح شامل عدم مصرف (شاهد) و محلول‌پاشی با نسبت ۲ در هزار (غلظت ۸۰۰ گرم در ۴۰۰ لیتر آب در هکتار) و عامل تنظیم‌کننده رشد سالیسیلیک اسید در چهار سطح شامل عدم مصرف (شاهد)، ۰/۵ میلی‌مولار، ۱ میلی‌مولار و ۱/۵ میلی‌مولار در هکتار به‌صورت محلول‌پاشی روی شاخ و برگ گیاه بود. محلول‌پاشی کود ریزمغذی در مرحله روزت و قبل از ساقه‌دهی و محلول‌پاشی هورمون سالیسیلیک اسید در دو مرحله (آغازگلدهی و پرشدن خورجین) انجام گرفت. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم نپتون بود. این رقم در کشورهای فرانسه و مجارستان ثبت شده و دارای ویژگی‌های پتانسیل عملکرد بالا، زمستانه و دو صفر (میزان اسید اروسیک وگلوکوزینولات کم)، دارای قدرت شاخه‌دهی بالا، ارتفاع متوسط، مقاوم به ریزش و ورس، مقاوم به سرما، متحمل به بیماری‌های قارچی فوما و اسکلروتینا، مقاوم به گل جالیز و تراکم مناسب ۴۰ بوته در مترمربع می‌باشد (Anonymous, 2015). کل آزمایش دارای ۴۸ کرت بود، ابعاد هر کرت ۱۰ مترمربع به‌صورت ۵ در ۲ متر و شامل ۴ خط کاشت بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف کشت ۵ سانتی‌متر و فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های مجاور ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی و همچنین فاصله بین بلوک‌ها ۵ متر بود. عملیات کاشت با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع، پس از آماده سازی بستر بذر و اضافه کردن کودهای پایه (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بر اساس نتایج آزمون خاک، کاشت به‌صورت پاییزه و در تاریخ ۹۵/۰۷/۱۲ انجام گرفت. در طی فصل رشد کلیه مراقبت‌های لازم انجام گرفت.

به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت کلیه نمونه‌های برداشت شده از برگ گیاهان در شرایط نرمال و تتنش کم آبی در نیتروژن مایع منجمد شدند و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۷۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند. برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز از روش چانس و ماهلی (Chance and Maehly, 1955) استفاده شد. در تعیین غلظت پرولین برگ در بافت برگ براساس روش بیتز و همکاران (Bates *et al*., 1973) عمل شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی کامل دانه‌ها با حذف دو خط کناری هر کرت و نیم متر از طرفین هر خط کاشت، برداشت انجام گرفت و جهت تعین عملکرد دانه نمونه‌ها پس از خرمن‌کوبی مورد عمل بوجاری قرارگرفته و سپس توزین شدند. میزان درصد روغن دانه به بوسیله دستگاه NIR (مدل GA7250 ساخت شرکت پرکنز سوئد) موجود در آزمایشگاه مرکزی شماره ۲ واقع در دانشکده کشاورزی اندازه‌گیری

گردید و از حاصل‌ضرب درصد روغن دانه در عملکرد دانه، عملکرد روغن دانه به‌دست آمد. در پایان برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

کاتالاز: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سالیسیلیک اسید و اثر دوگانه تنش خشکی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و اثر تنش خشکی و اثر متقابل سه‌گانه در سطح احتمال پنج درصد بر صفت مقدار آنزیم کاتالاز معنی‌دار است (جدول ۳). همچنین، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان آنزیم کاتالاز در شرایط تنش نسبت به عدم تنش به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و تیمار A2B1C4 (شرایط تنش+ عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) با میانگین ۱/۶۳ میلی‌مول در میلی‌گرم در دقیقه بیشترین میزان کاتالاز را داشت و کمترین مقدار کاتالاز متعلق به تیمارهای A1B1C1 (عدم تنش به‌همراه عدم محلول‌پاشی کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید) بود (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد همان‌طورکه نتو و گومز (Neto and Gomes, 2005) بیان کرده‌اند تنش کمبود آب موجب افزایش میزان آنزیم کاتالاز گردیده است. این آنزیم از طریق سم‌زدایی فرم‌های اکسیژنی فعال (ROS) مثل پراکسید هیدروژن و کاتالیز آن به آب و اکسیژن در کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از تنش کمبود آب مؤثر است. گزارش شده است که سالیسلیک اسید در شرایط تنش، میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مثل کاتالاز و پراکسیداز را زیاد می‌کند و به‌عنوان یک سوبسترا دهنده الکترون برای کاتالاز و پراکسیداز عمل نموده و باعث کاهش تنش می‌گردد (Hayat *et al.*, 2005) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. البته، همراهی و همکاران (Hamrahi *et al.*, 2008) گزارش کردند که کود ریزمغذی سبب اختلاف معنی‌دار میزان آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در شرایط تنش و شاهد گردید که افزایش تحمل به تنش خشکی در گیاه را به‌همراه خواهد داشت که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی ندارد.

پراکسیداز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات تیمارهای تنش کم‌آبی، سالیسیلیک اسید و اثر دوگانه تنش کم‌آبی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و اثرات دوگانه کود در سالیسیلیک اسید و اثر سه گانه تنش در کود در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دارگردید (جدول ۳). همچنین، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش نسبت به عدم تنش به طور معنی‌داری افزایش یافته و تیمار A2B1C3 (شرایط تنش+ عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و غلظت یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) با میانگین ۴ میکرومول در میلی‌گرم در دقیقه بیشترین میزان کاتالاز را داشت و تیمار A1B1C1 با میانگین ۲/۰۲ میکرومول در میلی‌گرم در دقیقه کمترین میزان آنزیم پراکسیداز را داشتند. نتایج یک تحقیق نشان داد که خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز برگ سه رقم کلزا گردید (Hatamvand *et al.*, 2014). در این تحقیق کود ریزمغذی بر میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدان تاثیر معنی‌داری نداشت اما تیمار سالیسلک اسید تاثیر مثبت معنی‌داری داشت که با نتایج آنانینوا و همکاران (Ananieva *et al.*, 2004) گزارش دادند که تیمار سالیسلیک

اسید به تنهایی باعث افزایش در فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز به ترتیب ۱۷، ۲۵ و ۲۰ درصد در مقایسه با تیمارهای شاهد گردید که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

پرولین: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه تنش کم‌آبی در کود در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد و سایر اثرات ساده و دوگانه در سطح احتمال یک درصد بر میزان اسید آمینه پرولین معنی‌دار گردید (جدول ۳). همچنین، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان آنزیم پرولین در شرایط تنش نسبت به‌عدم تنش به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و تیمار A2B1C4 با میانگین ۳/۶۲ بالاترین و تیمار A1B1C1 با میانگین ۲/۰۲ کمترین میزان اسید آمینه پرولین را داشت. هرچند که بین تیمارهای A1B1C1 با A1B1C3، A1B1C4 و A1B2C1 اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود نداشت. احمدی موسوی و همکاران (Ahmadi Mousavi *et al.*, 2005) گزارش کردند که تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین در گیاه کلزا می‌شود. در این پژوهش، ملاحظه شد که تنش خشکی سبب افزایش غلظت پرولین و قندهای محلول در دو رقم کلزا شده است. این نتایج نشان داد که تولید این تنظیم کننده‌های اسمزی، یک پاسخ معمول به شرایط تنش خشکی می‌باشد. افزایش غلظت پرولین در گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته‌اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش می‌باشد (Manivannan *et al.*, 2007). نتایج تحقیق فتحی امیرخیز و همکاران (Fathi Amir Khiz *et al.*, 2011) نشان داد که تأثیر کاربرد خاکی و برگی عنصر آهن بر افزایش مقدار اسید آمینهٔ پرولین در برگ گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی مثبت و معنی‌دار بود، اما در تحقیق حاضر کاربرد این ریزمغذی‌ها تاثیر معنی‌داری نداشت و افزایش در میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پرولین برگ در شرایط تنش ناشی از کاربرد سالیسیلیک اسید می‌باشد. همچنین، با توجه به نتایج همبستگی صفات که نشان داد بین میزان آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و اسیدآمینه پرولین همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۵)، به‌نظر می‌رسد این سه صفت نقش بسیار مهمی در افزایش تحمل به شرایط تنش کم‌آبی در گیاه کلزا ایفا می‌کنند.

عملکرد دانه: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و اثر تیمار کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید و اثر متقابل سه‌گانه تنش کم‌آبی در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید نشان داد که با استعمال کودهای ریزمغذی و سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط تنش و عدم تنش عملکرد دانه بیش از یک تن در هکتار افزایش یافت. بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۴۲۴/۷ کیلوگرم متعلق به تیمار A1B2C4 (عدم تنش+ محلول‌پاشی کود ریزمغذی+ غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۱۸۲۹/۸ متعلق به تیمار A2B1C1 (تنش کم آبی+عدم محلول‌پاشی کودریزمغذی+ عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید) بود، هرچند که بین تیمار A2B1C1 با A2B1C2 اختلاف معنی‌داری وجود

نداشت (جدول ۴). هدایت‌پور و همکاران (Hedayatpour *et al.*, 2014) با بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن بر عملکرد کمی و کیفی کلزا گزارش نمودند که بیشترین عملکرد دانه به میزان ۴۹۰۵ کیلوگرم به‌دست آمد. قلی‌نژاد و همکاران (Gholinejad *et al.*, 2008) نشان دادند با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت. استفاده از سالیسیلیک اسید به صورت محلول‌پاشی در برگ عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین، گزارش شده که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید از طریق تاثیر بر فرایندهای فیزیولوژیک کلزا باعث افزایش ۱۳ درصدی عملکرد دانه شد (Kesavarz and Modares sanavi, 2014). چنین به‌نظر می‌رسد در شرایط عدم تنش کم‌آبی به علت وجود شرایط ایدآل میزان کلروفیل در حد بالایی قرار داشت و منجر به افزایش فتوسنتز و نهایتاً افزایش عملکرد دانه شده است، اما در شرایط تنش که میزان کلروفیل به کمترین مقدار خود رسیده بود گیاه با افزایش در میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی خود مثل کاتالاز، پراکسیداز و پرولین توانسته ضمن افزایش مقاومت گیاه به شرایط تنش و جلوگیری از تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش فتوسنتز نهایتاً باعث افزایش عملکرد دانه شود.

درصد روغن: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی، سالیسیلیک اسید و اثر دوگانه کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر صفت درصد روغن معنی‌دار گردید ولی اثرمتقابل سه‌گانه معنی‌دار نشد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که درصد روغن در شرایط تنش نسبت به عدم تنش به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. تیمار A1B2**C**4 (شرایط عدم تنش+ محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) با ۴۶/۰۲ بیشترین درصد روغن را داشت و تیمار A2B1C1 با ۳۶/۴۸ درصد کمترین درصد روغن را ایجاد کرد، هرچند که بین این تیمار با تیمارهای A2B1C2 و A2B1C4 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. کاهش درصد روغن به موازات اعمال تنش آبیاری بعد از گلدهی را می‌توان به کاهش سطح برگ، اختلال در فتوسنتز به واسطه تنش خشکی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارایه به مقصد یا دانه‌ها، یا افزایش میزان تنفس جهت جلوگیری از صدمات تنش نسبت داد. عده‌ای از محققان (Paindeh *et al.*, 2018) تحقیقی انجام دادند که نتایج آن نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن شد اما محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن اثر مثبت و معنی‌دار داشت. نتایج تحقیق بالجانی و همکاران (Baljani and Shekari. 2012) که گزارش کردند در گیاهانی که بذورشان با سالیسیلیک اسید پیش‌تیمار شده بودند، سالیسیلیک اسید از طریق استفاده بهینه LAI و افزایش میزان استفاده از تشعشعات خورشیدی و افزایش سرعت فتوسنتز خالص باعث افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن می‌گردد، با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

عملکرد روغن: عملکرد روغن از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن به‌دست می‌آید. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی، سالیسیلیک اسید و اثر دوگانه کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و

اثرمتقابل سه‌گانه در سطح احتمال پنج درصد برصفت عملکرد روغن معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که عملکرد روغن در شرایط تنش نسبت به عدم تنش به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. تیمار A1B2C4 (شرایط عدم تنش+ محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید) با ۲۰۳۶/۷۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد روغن را داشت و تیمار A2B1C1 با ۶۶۷/۵۴ کیلوگرم در هکتار کمترین درصد روغن را ایجاد کرد، هرچند که بین این تیمار با تیمار A2B1C2 با میانگین ۷۴۹/۲۲ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. هدایت‌پور و همکاران (Hedayatpour *et al.*, 2014) گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن باعث بهبود عملکرد کمّی و کیفی کلزا شده و بیشترین عملکرد روغن به میزان ۲۱۲۴ کیلوگرم در هکتار مربوط به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن به میزان چهار گرم در لیتر بود. کاربرد نیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و مصرف روی با افزایش میزان تبخیر سبب افزایش عملکرد دانه، روغن و پروتئین شد (Zarei *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی، باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل کل، درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن و افزایش معنی‌دار میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدان مثل کاتالاز، پراکسیداز و اسید آمینه پرولین گردید. کود ریزمغذی هرچند بر میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدان تاثیر معنی‌داری نداشت توانست باعث افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل کل، درصد روغن، عملکرد دانه و عملکرد روغن گردد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر کلیه صفات مورد آزمایش تاثیر معنی‌داری داشته و توانست ضمن افزایش در میزان ترکیبات آنتی اکسیدان در گیاه کلزا و افزایش تحمل به شرایط تنش باعث افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل شده و نهایتاً باعث افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن گردد. به‌طورکلی، باتوجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، برای کاهش اثرات منفی تنش کمبود آب و حصول عملکرد دانه مناسب، استفاده از کود ریزمغذی فرتی میکس سه‌گانه و غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید در شرایط تنش کم آبی توصیه می‌گردد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری:

Table 1- Physical and chemical properties of soil experimental site (0-30cm)

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC mmos/cm	اسیدیته خاک PH	Cu	Zn	Mn	Fe	K	P	درصد کربن آلی Organic carbon (%)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	رطوبت وزنی در حد Fc (%)
			ppm								
لوم رس Clay loam	.064	7.7	0.85	0.44	3.8	5	258	7.5	0.67	1.57	23.70

جدول ۲- میزان عناصر موجود در کود ریزمغذی فرتی میکس سه‌گانه

Table 2- Elements of micronutrient fertilizers Ferti mix Trio

عناصر Elements	منگنز (درصد وزنی) Mn	روی (درصد وزنی) Zn	آهن (درصد وزنی) Fe
غلظت عنصر Element complexity	2	2	5

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در کلزا

Table 3- Analysis of variance for measured traits of Rapeseed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S.					
		کاتالاز Catalase	پراکسیداز peroxidase	پرولین Proline	عملکرد دانه seed yield	درصد روغن oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
تکرار Replication	2	0.0006^{ns}	0.0015^{ns}	0.027^{ns}	7861.61^{ns}	0.51^{ns}	1493.20^{ns}
فاکتور A (تنش) Water stress(A)	1	0.2228^{*}	6.9464^{**}	3.526^{**}	21219751.59^{**}	294.53^{**}	5804538.68^{**}
خطا A Error (a)	2	0.0049^{ns}	0.0329^{ns}	0.034^{ns}	36373.21^{ns}	1.80^{ns}	14660.45^{ns}
فاکتور B(کود) Micronutrient (B)	1	0.0003^{ns}	0.0001^{ns}	0.028^{ns}	2819257.55^{**}	37.91^{**}	761914.45^{**}
فاکتور C (اسید سالیسیلیک) Salicylic acid(C)	3	0.0375^{**}	0.4492^{**}	0.678^{**}	905775.87^{**}	7.27^{**}	222794.52^{**}
تنش× کود B×A	1	0.0683^{**}	0.0184^{ns}	2.301^{**}	2356.20^{ns}	0.51^{ns}	1536.46^{ns}
تنش × اسید سالیسیلیک C×A	3	0.0348^{**}	0.1245^{**}	0.124^{**}	17237.09^{ns}	0.44^{ns}	5550.25^{ns}
کود× اسید سالیسیلیک C×B	3	0.0040^{ns}	0.0362^{*}	0.234^{**}	85461.08^{*}	6.45^{**}	41658.54^{**}
تنش × کود× اسید سالیسیلیک C×B×A	3	0.0063^{*}	0.0382^{*}	0.078^{**}	66823.10^{*}	0.59^{ns}	18434.26^{*}
خطا کل Error (T)	28	0.0016	0.0119	0.026^{*}	21555.35	0.77	5277.44
ضریب تغییرات C.V. (%)		2.88	3.49	5.91	4.93	2.14	5.79

ns، * و** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ می‌باشند.

ns: Non-significat. * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه جانبه بر تعدادی از صفات مورد مطالعه در کلزا

Table 4- Means comparison of three way intraction on the some traits of Rapeseed

تیمار	کاتالاز Catalase (m mol H_2o_2/ min× mg)	پراکسیداز peroxidase (u mol H_2o_2/ min× mg)	پرولین Proline (u mol H2o2/ min× mg)	عملکرد دانه seed yield (Kg/ha)	درصد روغن oil percentage	عملکرد روغن Oil yield (Kg/ha)
A1B1C1	1.22 h	2.70 hi	2.02 h	3143.2 f	41.65 de	1311.60 f
A1B1C2	1.37 def	2.97 g	2.47 fg	3414.5 e	43.22 bcd	1476.08 e
A1B1C3	1.30 gh	2.81 ghi	2.24 gh	3679.5 cd	43.74 bc	1609.47 cd
A1B1C4	1.24 hi	2.45 j	2.21 gh	3497.5 de	42.52 cde	1487.73 de
A1B2C1	1.29 gh	2.68 hi	2.26 gh	3429.9 de	44.02 bc	1509.66 cde
A1B2C2	1.36 fg	2.87 gh	2.65 ef	3760.3 c	43.16 bcd	1623.27 c
A1B2C3	1.47 bc	2.90 g	2.82 cde	4002.6 b	44.20 b	1768.38 b
A1B2C4	1.34 fg	2.64 i	2.78 de	4424.7 a	46.02 a	2036.75 a
A2B1C1	1.39 def	3.18 f	2.98 bcd	1829.8 l	36.48 j	667.54 j
A2B1C2	1.43 cde	3.58 bc	3.20 b	1990.4 kl	37.65 hij	749.22 ij
A2B1C3	1.53 b	4.00 a	3.07 bc	2163.4 kl	39.10 gh	846.48 hi
A2B1C4	1.63 a	3.37 def	3.62 a	2376.0 ij	37.24 ij	884.93 h
A2B2C1	1.36 efg	3.28 ef	2.26 gh	2217.1 jk	38.31 ghi	849.62 hi
A2B2C2	1.37 efg	3.53 bcd	2.59 ef	2597.6 hi	39.18 gh	1018.15 g
A2B2C3	1.44 cd	3.70 b	3.18 b	2645.0 h	39.74 fg	1051.20 g
A2B2C4	1.53 b	3.45 cde	2.97 cd	2894.7 g	41.18 ef	1191.85 f

داده‌های دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means in each column and for each treatment, followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% of probability level, using Duncan´s Multiple Range Test.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در کلزا

Table 5- Coefficient correlation between traits of Rapeseed

	صفات	X1	X2	X3	X4	X5	X6
X1	**کاتالاز** Catalase	1					
X2	**پراکسیداز** peroxidase	0.91**	1				
X3	**پرولین** Proline	0.85**	0.86**	1			
X4	**عملکرد دانه** seed yield	-0.74**	-0.83**	-0.90**	1		
X5	**درصد روغن** Oil percentage	-0.76**	-0.86**	-0.90**	0.97**	1	
X6	**عملکرد روغن** Oil yield	-0.74**	-0.82**	-0.89**	0.99**	0.98**	1

ns، * و** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ می‌باشند.

ns: Non-significat. * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

References منابع مورد استفاده

- Ahmadi Mousavi, A., Kh. Manuchehri Kalantari, and M. Torkzadeh. 2005. Effect of a type of brassinoid on accumulation of malondialdehyde, proline, sugar and photosynthetic pigments in canola (*Brassica napus* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Biology*. 1: 295-306. (In Persian).
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition (2th ed). Brussels: International Zinc Association (IZA), 136p.
- Ananieva, A.E., K.N. Christov, and L.P. Popova. 2004. Exogenous treatment with salicylic acid leads to increased antioxidant capacity in leaves of barley plants exposed to paraquat. *Journal Plant Physiology*. 161: 319-328.
- Anonymous. 2015. Rapeseed cultivation guidelines using French winter hybrid cultivars. Ministry of Agriculture. Print Agricultural Support Services Company. P. 23. (In Persian).
- Anonymous. 2013. FAO. Food outlook. Global Market Analysis. Availablein: http://www. fao. Food outlook. com. (accessed march 2014).
- Arora, A., R.K. Sairam, and, G.C. Srivastava. 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Sciences*. 82: 1227-1238.
- Baljani, R., and F. Shekari. 2012. The effect of pretreatment with salicylic acid on relationships of growth and yield indices in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under late-season drought stress. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*. 1(22): 1-17. (In Persian).
- Bates, I.S., R.P, Waldern, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal Plant Soil*. 39: 205-207.
- Bernal, M., R. Cases, R. Picorel, and I. Yruela. 2007. Foliar and root Cu supply affect differently Fe and Zn-uptake and photosynthetic activity in soybean plants. *Environmental and Experimental Botany*. 60: 145–150.
- Bhardwaj, J., and S.K. Yadav. 2012. Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in drought tolerant and a sensitive variety of Horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) under drought stress. *American Journal of Plant Physiology*. 7(1): 17-29.
- Breusegem, F.V., E. Vranova, J.F. Dat, and D, Inze. 2001. The role of active oxygen species in plant signal transduction. *Plant Sciences*. 161: 405-414.
- Cakmak, I., H.P. Wolfgang, and M.C. Bonnie. 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry*. 87(1): 10-20.
- Chance, B., and A.C. Maehly. 1955. Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*. 2: 764-817.
- Edvards, J., and K. Hartel. 2011. Canola growth and gevelopment. Department of Primary Industries, State of New South Wales Through, Sydney, Australia.
- Fatahinejad, A., A.A. Siadat, M. Esfandiari, R. Moghadasi, and A.A. Moezzi. 2013. The Effect of phosphorus fertilizer on yield, oil and canola protein in dryland agriculture in different soil phosphorus groups. *Journal of Crop Physiology*. 18: 83-100. (In Persian).

- Fathi Amir Khiz, K., M. Amini Dehghi, A. Modares sanavi, and Q. Rahmati. 2011. The effect of soil and leaf iron application on some biochemical properties of safflower (*Carthamous tinctorius* L.) under two moisture regimes. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 48 (3): 509-518. (In Persian).
- Gholinejad, A., A. Mirror Hassanzadeh, O. Bernousi, and H. Rezai. 2008. Investigation of the effect of drought stress with nitrogen levels and compaction on yield, yield components and harvest index of sunflower isoflor cultivar in Urmia. *Journal of Crop Production Research*. 16(3): 1-27.
- Godarzi, A., F. Bazrafshan, M. Zare, H. Faraji, and A.R. Safahani Langeroodi. 2017. Studying the effect of drought stress on yield and physiological characteristics in genotypes of canola (*Brassica napus* L). *Helix Scientific Explorer*. 8: 1250-1258.
- Hamrahi, S., D. Habibi, H. Civil, and M. Mashhadi Akbar Bujar. 2008. Effect of cycocel and micronutrients on antioxidant enzymes activity as drought resistance indices in rapeseed. *Journal of Modern Agricultural Findings*. 2(3): 316-329.
- 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 3 rapeseed cultivars. 13th Iranian Conference on Agronomy and Plant Breeding and Third Conference on Seed Science and Technology. P. 3. (In Persian).
- Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan, and A. Ahmad. 2005. Effect of exogenoussalicylic acid under changing environment. *Journal Environmental and Experimental Botany*. 68(1): 14-25.
- Hedayatpour, R., M. Movahedi Dehnavi, H.R. Khadem Hamza, and S.M. Morshedi. 2014. The effect of foliar application of Zn and Fe on quantitative and qualitative yield of rapeseed Talaye cultivar in Zarghan area, Fars. *Journal of Oilseed Production*. 1(1): 43-33. (In Persian).
- Heidari, M., and V. Karami. 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 13: 9-13.
- Janda, T.E., L. Kosa, G. Szalai, and E. Paldi. 2005. Investigatin of antioxidant activity of maize during low Temperature stress. *Journal of Plant Physiology*. 49: 53-54.
- Kesavarz, H., and S.A.M. Modares sanavi. 2014. Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two rapeseed cultivars. *Journal of Crop Production*. 7-4(39): 161-171. (In Persian).
- Khan, W., B. Prithiviraj, and D. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology*. 160: 485-92.
- Malekuti, M.J., P. Kesavarz, and N. Karimian. 2008. Comprehensive method of diagnosis and optimal recommendation of fertilizer for sustainable agriculture. Tarbiat Modarres University Press. Page 755. (In Persian).
- Manivannan, P., C.A. Jaleel, B. Sankar, A. Kishurekumar, R. Somasundaram, G.M. Lakshmanan, and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in (*Helianthus annuus* L.) asinduced by drought stress. *Colloids and Surfaces, Biointerfaces*.z 59: 141-149.

- Neto, A.D., and E. Gomes Filo. 2005. Effect of salt stress on antioxidant and lipid peroxidation in leaves and roots of salt tolerance and salt sensitive maize genotype. *Environmental and Experimental Botany.* 56 (1): 87-94
- Omidi, H. 2010. Changes of proline content and activity of antioxidative enzymes in two canola genotype under drought stress. *American Journal of Plant Physiology.* 5(6): 338-349.
- Omidi, H., F. Movahadi, and S.H. Movahadi. 2012. The effect of salicylic acid and scarification on germination characteristics and proline, protein and soluble carbohydrate content of Prosopis (*Prosopis farcta* L.) seedling under salt stress. *Iranian Journal of Range And Desert Research*. 18: 608-623. (In Persian).
- Omidian, A., S.A. Siadat, R. Naseri, and M. Moradi. 2013. Effect of zinc sulfate spraying on yield, oil content and seed protein of four rapeseed cultivars. *Iranian Agricultural Science*. 14(1): 16-28. (in Persian).
- Paindeh, Kh., M. Majd, and N. drogar. 2018. Application of micronutrients on the quantitative and qualitative yield of canola in drought stress conditions. *Journal of Crop Physiology*. 10(38): 23-37. (In Persian).
- Pandey, N., G.C. Pathak, and C.P. Sharma. 2009. Impairment in reproductive development is a major factor limiting yield of black gram under zinc deficiency. *Biology Plant*. 53: 723-727.
- Pennycooke, J.C., S. Cox, and C. Stushnoff. 2004. Relatioship of cold acclimation, total phenolic content and antioxidant capacity with chilling tolerace in petunia (*Petinia hybrida*). *Environmental and Experimental Botany*. 53: 225-232.
- Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam, and A.R. Sepaskhah. 2015. Improving barley performance by proper foliar applied Salisilic acid under saline conditions. *International Journal Plant Produose*. 9(3): 467-486.
- Ravi S., H.T. Channal, N.S. Hebsur, B.N. Patil, and P.R. Dharmatti. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal Agriculture Science*. 32: 382-385.
- Saeedi, A.H., and A. Sadeghi. 2008. Influence of some high and low nutrient elements on grain yield, oil content and other agronomic traits of two rapeseed cultivars in Isfahan. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 12(45): 88-78. (In Persian).
- Yong, Z., T. Hao-Ru, and L. Ya. 2008. Variation in antioxidant enzyme activities of two strawberry cultivars with short-term low temperature stress. *Agricultural Sciences*. 4: 456-462.
- Zarei, Z., J. Daneshian, and A. Khorgamy. 2016. Effect of Zinc and salicylic acid foliar application on quantitative and qualititative characteristics of soybean under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 14: 723-734.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.687070

Effect of Foliar Application of Salicylic Acid and Micronutrients on Some Biochemical and Agronomic Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.' Neptune Cultivar) under Water Deficit Stress

Younes Mir[1*], Mashalah Daneshvar[2], Ahmad Ismaili[3] and Hamed Khosravi[1]

Received: February 2020 , Revised: 27 January 2021, Accepted: 8 February 2021

Abstract

To investigate the effect of soluble salicylic acid and micronutrient elements on some of the biochemical and agronomic characteristics of rapeseed under water deficit conditions studied in a split factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications at the Faculty of Agriculture, Lorestan University during 2016-2017 growing season. Water deficit was considered as the main factor with two levels (irrigation at 20 (control) and 70% of field capacity depletion), and combined treatments of two factors of foliar application of micronutrient elements (non-consumption and spraying at a concentration of 2 per thousand) and salicylic acid concentration of 0, 0.5, 1 and 1.5 mM) as the subplot. The results showed that the effects of water deficit and salicylic acid on all traits under study were significant. The results showed that triple interaction was also significant on catalase, peroxidase. proline, oil percent, seed yield and oil yield. The highest average oil percentage, seed and oil yield were 46.02%, 4424 and 2036 kg.ha^{-1} of the treatment combination (no stress+ solubility of 1.5 mm salicylic acid and concentration of 2 per thousand micronutrient fertilizer). The results of this study, based on the changes in the mean, showed that salicylic acid and micronutrient elements reduced the effect of water deficit in canola seedlings. In general, Based on the results of this study, it is recommended to reduce the negative effects of water deficit stress and produce proper seed yield, by using Ferti Mix Trio fertilizer and 1.5mM salicylic acid under water deficit conditions.

Key words: Catalase, Oil percentage, Peroxidase, Proline.

1- Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2- Assistant Professor, Faculty of Agriculture Lorestan University, Khorramabad, Iran.
3- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
**Corresponding Author: Younesmir80@yahoo.com*