

اثر محلول پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک کاملینا

(*Camelina sativa L. crantz*) در شرایط دیم

ماندانا آژند^۱، محسن سعیدی^{۲*}، علی بهشتی آل آقا^۳ و دانیال کهزیری^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

(۲ و ۳) دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

(۴) استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*نویسنده مسئول: msaeidi@razi.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۵

چکیده

کمبود رطوبت و آهنی بودن خاک‌های کشاورزی از عوامل اصلی کاهش کارایی جذب عناصر ریز مغذی نظیر آهن و روی از محلول خاک و کاهش عملکرد گیاهان زراعی در اکثر مناطق کشت دیم محسوب می‌شوند. بنابراین به منظور ارزیابی اثر محلول پاشی غلظت‌های مختلف سولفات آهن و روی در شرایط دیم بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کاملینا به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در کرمانشاه این پژوهش اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل محلول پاشی عناصر ریزمغذی در پنج سطح (عدم محلول پاشی و محلول پاشی سولفات آهن و روی هر کدام با غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار) و عامل زمان محلول پاشی در دو سطح در ابتدای رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا بودند. بر اساس نتایج به دست آمده، اعمال تیمارهای محلول پاشی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شدند، بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه و روغن، مربوط به تیمار محلول پاشی عنصر روی در سطح ۸ در هزار و در زمان گل‌دهی بود که این صفت‌ها را به ترتیب از ۱۰۹۹ و ۳۹۹ در شرایط شاهد به ۱۵۸۰ و ۶۶۳ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. تیمارهای محلول پاشی و زمان اعمال آن‌ها سبب افزایش معنی‌دار سایر صفت‌های زراعی از جمله عملکرد زیست‌توده، شاخص برداشت، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، درصد روغن و همچنین صفت‌های فیزیولوژیک شامل غلظت کلروفیل a و b، قندهای محلول، پرولین و سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز برگ‌ها شد، اما بر محتوی کاروتنوئیدها و فنل کل اثر معنی‌داری نداشتند. بیش‌ترین اثر افزایشی تیمارهای مورد بررسی در صفت‌های فیزیولوژیک، اعمال تیمار سولفات روی در سطح ۴ در هزار در ابتدای رشد زایشی بود که به‌طور متوسط سبب افزایش ۸۵ درصدی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز شد. به نظر می‌رسد که کاربرد سولفات آهن و روی در منطقه مورد مطالعه، از طریق بهبود صفت‌های فیزیولوژیک و سازوکارهای تحمل به تنش خشکی در شرایط دیم، سبب افزایش عملکرد دانه و روغن نسبت به شرایط شاهد شده است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، درصد روغن، رنگیزه‌های فتوسنتزی و قندهای محلول.

مقدمه

با وجود اهمیت بالای گیاهان روغنی در جیره غذایی مردم و صنعت، هر ساله بیش از ۹۰ درصد از روغن مورد نیاز کشور از واردات تامین می‌گردد (بی‌نام، ۱۳۹۵). کاملینا^۱ گیاه روغنی - دارویی کم‌تر شناخته شده از خانواده کلم^۲ می‌باشد. منشا این گیاه را جنوب شرقی اروپا و آسیای جنوب غربی عنوان نموده‌اند (Larsson, 2013). محتوی روغن بذریه کاملینا ۳۰-۴۰ درصد بوده (Pavlista et al., 2016) و ۹۰ درصد آن را اسیدهای چرب اشباع نشده شامل آلفا لینولنیک اسید (۳۰-۴۰ درصد)، لینولنیک اسید (۱۵-۲۵ درصد) و حدود ۱۵ درصد اولئیک اسید و سایر اسیدهای چرب تشکیل می‌دهد (Waraich et al., 2013). وجود مقدار بالای آلفا لینولنیک اسید (امگا ۳)، توکوفرول‌ها و سایر آنتی‌اکسیدان‌ها در روغن کاملینا با توجه به نقش این ترکیب‌ها در سلامت انسان، روغن کاملینا را به‌عنوان یک منبع ارتقا دهنده سلامتی از نظر تغذیه‌ای مورد توجه قرار داده است (Ibrahim and El Habbasha, 2015). علاوه بر این مطالعه‌های متعددی سازگاری بالای کاملینا نسبت به شرایط نامساعد محیطی مانند تنش‌های دمایی، خشکی (Waraich et al., 2020)، شوری (Morales et al., 2017) و کمبود عنصرهای غذایی (Sintim et al., 2016) را گزارش نموده‌اند. هم‌چنین نتایج بررسی‌ها طی سال‌های متوالی از شمال تا جنوب اروپا و تا غرب کانادا سازگاری قابل توجه این گیاه را به شرایط محیطی مختلف تایید می‌نمایند (Zanetti et al., 2017). بر اساس نتایج به دست آمده توسط Waraich و همکاران (۲۰۲۰) که نشان دادند با افزایش شدت تنش کم‌آبی پارامترهای رشدی مانند ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، کمی مانند عملکرد روغن و اجزای آن و پارامترهای کیفی مانند درصد روغن و پروتئین دانه کاملینا و کلزا به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند، اما عملکرد، محتوای پروتئین دانه و کیفیت روغن بالاتر کاملینا نشان‌دهنده مقاومت بیش‌تر آن در مقایسه با کلزا در شرایط تنش کم‌آبی بود. هم‌چنین در اولین گزارش ارائه شده از مطالعه‌های کاملینا در ایران Kahrizi و همکاران (۲۰۱۵) عنوان نمودند که کاملینا می‌تواند گزینه مناسبی برای توسعه کشت آن در دیم‌زارهای کشور باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند بخش وسیعی از ایران به‌دلیل کم‌آبی و وضعیت نامناسب خاک، کمبود عناصر ریزمغذی از جمله آهن و روی در گیاهان زراعی از مشکلات عمده به‌شمار می‌رود. بر اساس یافته‌های پژوهشگران محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در چنین شرایطی باعث جذب موثرتر عنصرهای غذایی در برگ‌ها و انتقال به سایر اندام‌های گیاه می‌شود (Srivastava and Malhotra, 2017). علاوه بر این نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که کاربرد عنصرهای ریزمغذی می‌تواند اثرهای مضر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی مختلف مانند تنش خشکی (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Babaeian et al., 2011)، شوری (Torabian et al., 2016) و دمایی (موسویان و همکاران، ۱۳۹۹؛ Waraich et al., 2013) را در

1- *Camelina sativa* L. crantz2- *Brassicaceae*

گیاهان کاهش دهند. در رابطه با نحوه کاهش اثر تنش‌های محیطی توسط ریزمغذی‌ها، افزایش سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در سلول‌های گیاهی با کاربرد عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن و روی باعث کاهش سمیت گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) و تعدیل شرایط تنش می‌گردند (Lipiec *et al.*, 2013). در همین زمینه نتایج Mamedov و Bybordi (۲۰۱۰) نشان داد، محلول‌پاشی عنصرهای روی و آهن علاوه بر افزایش غلظت این عناصر در برگ‌های کلزا، بر سرعت فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اثر معنی‌دار داشته است، به طوری که سرعت فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به طور معنی‌داری افزایش یافت، این در حالی است که کاربرد خاکی این عناصر چنین اثری را نداشت. همچنین نتایج به دست آمده از بررسی اثر محلول‌پاشی عنصر روی بر گیاه خردل هندی^۲ در شرایط تنش خشکی نشان دهنده کاهش معنی‌دار اکثر صفات‌های مورد بررسی بود، اما محلول‌پاشی عنصر روی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، عملکرد زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته، محتوی کلروفیل، کاروتنوئیدها و همچنین محتوی نسبی آب برگ شد (Khan *et al.*, 2016). پاینده و همکاران (۱۳۹۷) بیان داشتند در شرایط تنش خشکی به منظور تولید حداکثر عملکرد کمی و کیفی در کلزا، کاربرد کودهای ریز مغذی آهن و روی به صورت محلول‌پاشی توصیه می‌گردد. در همین ارتباط عباسی و همکاران (۱۳۹۸) افزایش عملکرد دانه به میزان ۴۴ درصد نسبت به تیمار شاهد در کلزا در شرایط کاربرد تیمار نانو کلات روی و نانو کلات آهن را گزارش نمودند. با وجود این که تاکنون پژوهش‌های متعددی در مورد استفاده از عنصرهای ریز مغذی در گیاهان زراعی صورت گرفته است، اما در شرایط دیم به خوبی مشخص نیست که استفاده از این عناصر بر کدام ویژگی یا ویژگی‌های فیزیولوژیک اثر بیش‌تری داشته و تا چه حدی می‌توانند اثرهای خسارت‌زای تنش را کاهش دهند. از طرف دیگر با توجه به بحران کم‌آبی و فقر غذایی خاک‌های کشور به‌ویژه از نظر عناصر ریز مغذی روی و آهن و قابلیت‌های منطقه در زمینه تولید گیاهان روغنی - دارویی و اهمیت معرفی گیاهان جدید با نیاز آبی کم‌تر، ضرورت این نوع پژوهش‌ها احساس می‌شود. بنابراین پژوهش حاضر به منظور ارزیابی واکنش‌های فیزیولوژیک کاملینا در شرایط دیم و امکان بهبود عملکرد این گیاه از طریق محلول‌پاشی کودهای سولفات روی و آهن اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه اجرا شد. ویژگی‌های آب و هوایی و خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. فاکتورهای آزمایش شامل محلول‌پاشی

1- Reactive oxygen species

2- *Brassica juncea* L.

عناصر ریزمغذی در پنج سطح شامل سولفات آهن و روی هر کدام با غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار و شاهد (عدم محلول پاشی)، زمان محلول پاشی در دو سطح شامل محلول پاشی در ابتدای مرحله رشد رویشی (کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH) و زمان گل‌دهی کاملینا (زمان گل‌دهی یعنی زمانی که ۵۰ درصد بوته‌ها در هر کرت به گل رفته بودند یا کد ۶۰۵ بر اساس سیستم کدبندی BBCH) بودند (Martinelli and Galasso, 2011). در این تحقیق از رقم سهیل (رقم اصلاحی دانشگاه رازی) که برای شرایط کشت دیم اصلاح شده است، استفاده شد. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و پیاده‌سازی نقشه طرح، کرت‌ها آزمایش شامل ۵ ردیف کاشت با فواصل ۲۲/۵ سانتی‌متر و به طول ۶ متر ایجاد گردید و کشت در مزرعه با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع در اولین زمان مناسب در اوایل آذر ماه انجام گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی در هر کرت انجام شد. کاربرد کود نیتروژن، فسفر و پتاس بر اساس نیاز و با توجه به داده‌های جدول ۱ انجام شد. محلول پاشی با استفاده از سم‌پاش دستی و از ارتفاع پایین در زمان‌های مورد نظر صورت گرفت و به منظور جلوگیری از اثرگذاری تیمارهای محلول پاشی بر کرت‌های مجاور بین کرت‌های فرعی و بین بلوک‌ها به ترتیب ۰/۹ و ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. نمونه‌های برگ‌گی جهت اندازه‌گیری صفت‌های فیزیولوژیک ۷ روز پس از گل‌دهی تهیه شدند و برای اندازه‌گیری‌های مورد نظر تهیه و تا زمان انجام آزمایش‌های مربوطه در دمای ۸۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

جدول ۱: ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش

بافت	رس	سیلت	شن	کربنات		منگنز	روی	آهن	مس	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
				کلسیم	آلی							
				(درصد)								
رسی - سیلتی	۴۵/۴	۴۳/۹	۱۰/۷	۲۸	۰/۹۹	۷/۸	۰/۴۸	۴/۵	۱/۸	۳۶۰	۱۸	۰/۰۹

اندازه‌گیری برخی صفت‌های فیزیولوژیک

غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ بر اساس روش Wellburn و Lichtenthaler (۱۹۸۳) و محتوی پروتئین بر اساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شدند و بر این اساس پس از استخراج و خالص‌سازی، جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر قرائت شد. برای اندازه‌گیری غلظت قندهای محلول کل از روش فنل اسید سولفوریک استفاده شد (Sheligi, 1986). استخراج و اندازه‌گیری محتوی ترکیب‌های فنلی (فنل کل) با روش Pourmorad و همکاران (۲۰۰۶) صورت گرفت. سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز بر اساس کاهش جذب H_2O_2 بر اساس روش Sinha (۱۹۷۲)، پراکسیداز بر اساس روش Chance و Meahly (۱۹۹۵)، سوپراکسید دیسموتاز بر اساس روش Beauchamp و Fridovich (۱۹۷۱) و هم‌چنین غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها با روش Bradford (۱۹۷۶) تعیین گردیدند.

اندازه‌گیری برخی صفت‌های مورفولوژیک

در زمان رسیدگی تکنولوژیک و به‌منظور محاسبه عملکرد دانه و زیست‌توده، بعد از حذف اثر حاشیه‌ها، برداشت در سطح یک مترمربع صورت گرفت و عملکرد نهایی دانه و زیست‌توده محاسبه گردید. تاریخ برداشت ۴ تیر ماه بود. درصد رطوبت دانه بوته‌ها در این مرحله به‌طور متوسط حدود ۱۰ درصد و کد ۸۰۹ از نظر سیستم کدبندی BBCH را داشت (Martinelli and Galasso, 2011). هم‌چنین به‌منظور اندازه‌گیری سایر صفت‌های زراعی از هر واحد آزمایشی تعداد ۲۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفت‌های تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه مورد بررسی قرار گرفتند. استخراج روغن توسط حلال پترولیوم اتر با استفاده از دستگاه سوکسله انجام شد و پس از تعیین درصد روغن، عملکرد روغن نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد روغن محاسبه گردید (AOAC, 1990). پس از بررسی و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و با توجه به وجود عامل صفر (شاهد)، عامل دیگر یعنی زمان اعمال عناصر در این سطح متغیر نبودند (کرت‌های غیرواقعی یا موهومی)، بنابراین ارائه جدول تجزیه واریانس با اندکی تغییر خواهد بود (Jain and Srivastava, 2007).

جدول ۲: میانگین بارش و درجه‌حرارت محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۰/۱۱	۰	۰	۵/۳	۶۹	۶۴/۱	۳۴/۶	۹۰/۳	۲۷/۲	۳۰/۸	۱۲	۰	میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر)
۲۵/۷	۲۹/۲	۲۸/۶	۲۲/۰۳	۱۵/۰۴	۱۳/۸	۱۰	۶/۱	۶/۱	۵/۴	۱۴/۳	۱۸/۱	میانگین دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد)

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف تیمارهای محلول‌پاشی کودهای سولفات روی و آهن و زمان اعمال تیمارهای محلول‌پاشی بر برخی از صفت‌های زراعی و فیزیولوژیک برگ‌های کاملینا در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است.

محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی

مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای محلول‌پاشی و زمان اعمال آن‌ها افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل a و b در هر دو زمان اعمال شده نسبت به تیمار شاهد را نشان دادند (شکل ۱)، این در حالی بود که تغییری در محتوی کاروتنوئیدها با اعمال این تیمارها مشاهده نشد (جدول ۴). واکنش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی به تیمارهای محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد متفاوت بود، در این شرایط سطوح مختلف تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن در ابتدای مرحله رویشی و

محلول پاشی سولفات روی در ابتدای مرحله زایشی اثر بیش‌تری بر محتوی کلروفیل a داشتند. بیش‌ترین درصد افزایش محتوی کلروفیل a در تیمارهای محلول پاشی سولفات آهن با غلظت ۴ در هزار در مرحله رویشی و تیمار سولفات روی با غلظت ۸ در هزار در مرحله زایشی به ترتیب با ۸۳ و ۸۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد دیده شد. هر چند سایر تیمارهای محلول پاشی سبب افزایش معنی‌دار محتوی کلروفیل b نسبت به تیمار شاهد شدند، اما محلول پاشی در مرحله زایشی سبب افزایش بیش‌تر محتوی کلروفیل b شد، به طوری که بیش‌ترین محتوی کلروفیل b در تیمار محلول پاشی آهن با غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار به ترتیب با ۷۲ و ۶۹ درصد افزایش دیده شد. هم‌چنین تیمارهای محلول پاشی اثر بیش‌تری بر افزایش محتوی کلروفیل a نسبت به محتوی کلروفیل b داشتند. به طور کلی در شرایط بروز تنش خشکی دامنه وسیعی از اختلالات مولکولی که به آسیب‌های فیزیولوژیک و در نهایت کاهش عملکرد کمی و کیفی در گیاهان منجر به می‌شود، می‌تواند ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن^۱ (ROS) باشد، به طوری که ROSها سبب پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین‌های غشایی، مولکول DNA و هم‌چنین مولکول‌هایی نظیر کلروفیل و آنزیم‌های مختلف در سلول شده که در نهایت سبب بروز تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌گردد (Carocho and Ferreira, 2013). در پژوهش حاضر نیز تیمارهای محلول پاشی سبب افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b در مقایسه با تیمار شاهد شدند. بنابراین با توجه به نقش آهن و روی در سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌توان نتیجه گرفت با افزایش دسترسی به این عناصر از طریق محلول پاشی برگ به ویژه در زمان رشد زایشی غلظت کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی بیش‌تر شده که در نهایت افزایش و بهبود عملکرد را نیز در پی داشته است. اثر افزایشی ناشی از محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی در سویا نیز توسط Zolfaghari Gheshlaghi و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شده است.

محتوی فنل کل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

اعمال تیمارهای محلول پاشی در مراحل مختلف رشدی کاملینا اثر معنی‌داری بر محتوی فنل کل برگ‌ها نداشت (جدول ۴)، اما نتایج ارزیابی تیمارهای محلول پاشی و زمان اعمال این تیمارها بیان کننده افزایش سرعت فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز با محلول پاشی غلظت‌های سولفات روی در ابتدای مرحله رشد زایشی نسبت به تیمار سولفات آهن بود. بیش‌ترین سرعت فعالیت آنزیم‌های مذکور مربوط به اعمال تیمار روی با غلظت ۴ در هزار در مرحله رشد زایشی بود که اختلاف معنی‌داری با غلظت ۸ در هزار این تیمار در مرحله زایشی نداشت. محلول پاشی سولفات آهن بیش‌ترین اثر افزایشی بر سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در مرحله رشد رویشی داشت (شکل ۲). یکی از مواردی که بیان کننده مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها می‌باشد، وجود سطح بالای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است. به

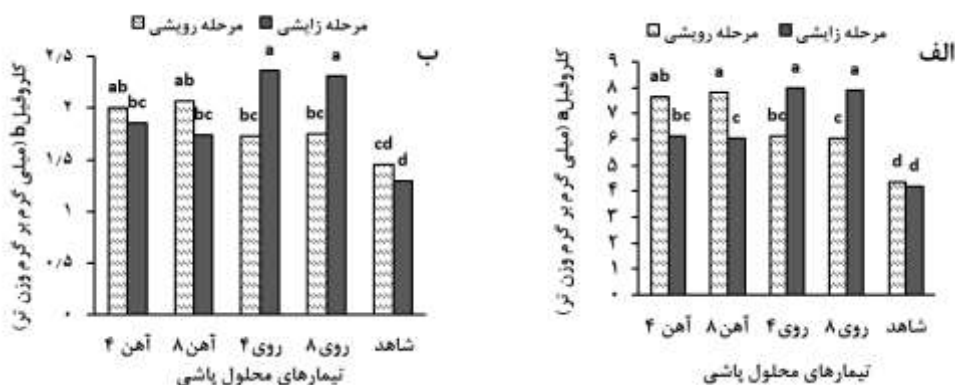
1- Reactive oxygen species

طوری که در پژوهشی بر روی کلزا در شرایط تنش خشکی افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز مشاهده شد که این افزایش فعالیت سبب تعدیل شرایط تنش و بهبود عملکرد نیز گردید (Abedi and Pakniyat, 2010). بر اساس نتایج با توجه به بررسی سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، احتمالاً افزایش سرعت فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز در کاهش اثرهای مخرب ROS ناشی از تنش موثرتر بود. افزایش سرعت فعالیت این آنزیم‌ها در تیمارهای محلول‌پاشی قابل توجه بود. افزایش سرعت فعالیت این آنزیم‌ها می‌تواند به دلیل اعمال تیمار تنش رطوبتی در اثر کشت محصول در محیط دیم و نقش تنظیم‌کنندگی آهن و روی باشد. مشابه با نتایج ما بررسی *Ma* و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که کاربرد روی بیان ژن‌های مربوط به آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و در نتیجه افزایش فعالیت آن‌ها را در شرایط تنش خشکی نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داده است.

جدول ۳: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات‌های مورد بررسی در واکنش به سطوح مختلف تیمارهای محلول‌پاشی سولفات روی و آهن در ابتدای مراحل رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا در شرایط دیم

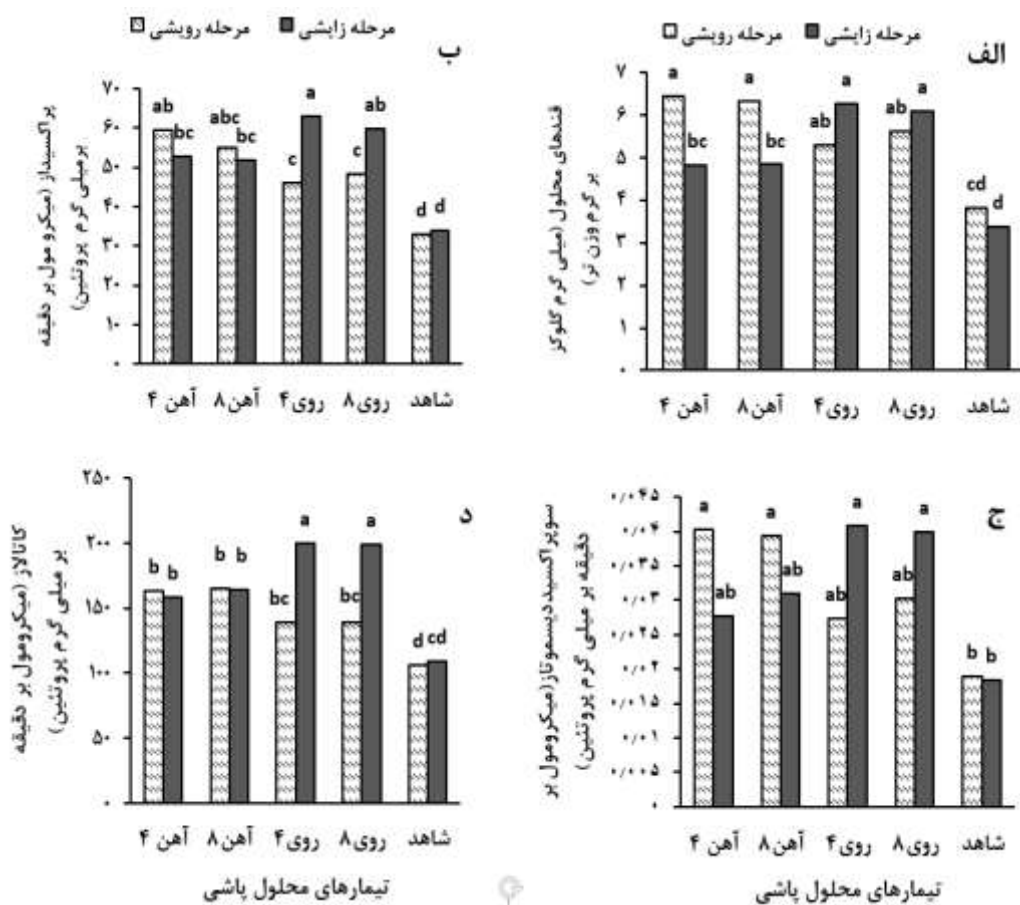
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	عملکرد روغن	کلروفیل a	کلروفیل b	قندهای محلول	پراکسیداز	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز
تکرار	۲	۱۵۸۶ ^{ns}	۴/۷۹ ^{ns}	۰/۴۸۶ ^{ns}	۲۷۶۲ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۱۲۷ ^{ns}	۱/۹۶*	۳۸/۶۶ ^{ns}	۶۳/۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}
زمان اعمال	۱	۱۲۲۸۰۳**	۱۱/۷۱ ^{ns}	۰/۹۵۱**	۳۶۷۰۸**	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۹۵ ^{ns}	۱/۲۸۵**	۱۱۶/۹۴ ^{ns}	۴۱۰۳**	۰/۰۰۰۱۵ ^{ns}
محلول‌پاشی	۴	۱۱۷۳۵۵**	۱۳۰/۱**	۱/۸۵۱**	۲۹۲۴۲**	۸/۷۵**	۰/۴۶۳**	۵۳۹۳**	۵۳۸/۷**	۴۱۵۰**	۰/۰۰۰۵**
زمان × محلول	۳	۵۴۵۱۰**	۵۹/۳۷**	۰/۶۶۰**	۱۱۱۷۹**	۶/۱۵**	۰/۳۹۷*	۲/۶۴**	۱۹۳/۰۳**	۱۹۹۱**	۰/۰۰۰۱**
خطا	۱۹	۶۷۵۹	۱۰/۹۴	۰/۰۸	۱۴۸۶	۰/۸۲	۰/۰۶	۰/۴۵	۲۹/۵۴	۳۵۰/۲۱	۰/۰۰۰۰۵
ضریب تغییرات (%)		۶/۰۹	۵/۳۷	۳/۷۹	۷/۴	۱۴/۰۲	۱۲/۹۰	۱۲/۶۷	۱۰/۷۹	۱۲/۱۳	۲۱/۸

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.



شکل ۱: اثر برهم‌کنش تیمارهای محلول‌پاشی سولفات آهن و روی و زمان اعمال آن‌ها بر صفات الف) محتوی کلروفیل a (ب) محتوی کلروفیل b

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ بر اساس سیستم کدبندی BBCH. در سطوح مختلف محلول‌پاشی میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲: اثر برهم کنش تیمارهای محلول پاشی سولفات آهن و روی و زمان اعمال آن‌ها بر صفات الف) محتوی قندهای

محلول کل ب) آنزیم پراکسیداز (POD) ج) آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) د) آنزیم کاتالاز (CAT)

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ بر اساس سیستم کدبندی BBCH. در سطوح مختلف محلول پاشی میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴: تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات‌های مورد بررسی در واکنش به سطوح مختلف تیمارهای محلول پاشی

سولفات روی و آهن در ابتدای مراحل رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا در شرایط دیم

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد زیست توده	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	درصد روغن	پروتلین	پروتئین‌های محلول	فنل کل	کاروتنوئیدها
تکرار	۲	۴۰۳۶۶۲	۹/۱۷	۰/۰۰۵	۸/۱۲	۹/۱۴	۱۳/۸۷	۶/۴۴	۰/۰۶۹
زمان اعمال	۱	۹۷۰۸۹۹۶**	۳۷/۱۴*	۰/۰۱۵	۱۲/۹۴*	۵۳/۲۷**	۴۹/۵۶*	۶۱/۵۹	۰/۷۳۳
محلول پاشی	۴	۱۴۹۰۰۰۴	۲۱/۴۷*	۰/۰۷۹**	۱۵/۲۵**	۵۳/۴۵**	۷۸/۴۱**	۳۴/۲۹	۰/۳۸۱
زمان × محلول	۳	۴۶۰۸۵۱	۲/۳۸	۰/۰۰۵	۰/۸۷	۴/۱۴	۹/۹۹	۱۳/۹۵	۰/۲
خطا	۱۹	۶۶۱۱۲۲	۶/۶۱	۰/۰۰۴	۲/۶۳	۴/۵۸	۸/۲۹	۱۷/۶۸	۰/۲۲
ضریب تغییرات (%)		۷/۱۰	۱۱/۶۷	۶/۱۳	۴/۲۱	۱۲/۶	۱۸/۷۱	۱۷/۵۱	۲۶/۵

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

محتوی قندهای محلول کل برگ

افزایش تجمع قندهای محلول با محلول پاشی سولفات آهن و روی در هر دو مرحله رشدی مورد بررسی مشاهده گردید (شکل ۲-الف)، اما روند این افزایش با توجه به زمان‌های اعمال تیمارها متفاوت بود به طوری که در زمان رشد رویشی محلول پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار سولفات آهن به ترتیب سبب افزایش ۷۸ و ۷۵ درصدی محتوی قندهای محلول و محلول پاشی غلظت‌های ۴ و ۸ در هزار سولفات روی در مرحله زایشی به ترتیب سبب افزایش ۷۴ و ۶۹ درصدی محتوی قندهای محلول در شرایط دیم شدند. در شرایط تنش، تجمع قندهای محلول بیان برخی از ژن‌های مرتبط با تنش را در گیاهان افزایش می‌دهند که این امر می‌تواند منجر به بروز برخی از پاسخ‌های دفاعی در این شرایط گردد (Hessini *et al.*, 2009). علاوه بر این در این شرایط افزایش سنتز و تجمع قندهای محلول با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانی آن‌ها می‌تواند در کاهش اثرهای تنش و در نهایت بهبود عملکرد دانه موثر واقع شود.

محتوی پروتئین‌های محلول برگ

بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای محلول پاشی و زمان اعمال آن‌ها بر محتوی پروتئین‌های محلول برگ نشان داد، تیمارهای محلول پاشی غلظت‌های مختلف آهن و روی باعث افزایش محتوی پروتئین‌های محلول نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۵). بیش‌ترین محتوی پروتئین‌های محلول برگ‌ها در تیمار محلول پاشی آهن و روی با غلظت ۸ در هزار به دست آمد. این مقادیر به ترتیب ۷۴ و ۷۹ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان دادند. در واقع تغییر محتوی پروتئین‌های محلول برگ در شرایطی هم‌چون تنش بسیار حایز اهمیت است، به طوری که افزایش سنتز پروتئین‌هایی از جمله دی‌هیدرین‌ها در واکنش به تنش‌ها با افزایش فرایند تنظیم اسمزی، سلول‌های در معرض تنش را از پسابدگی محافظت می‌کنند (Ramezani *et al.*, 2012). مطالعه‌های مختلف نیز بر نقش کلیدی روی و آهن در سنتز پروتئین‌های مرتبط با شرایط تنش به‌عنوان جزئی از سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان تاکید دارند (Rout and Sahoo, 2015). در پژوهش حاضر نیز با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد محلول پاشی عناصر روی و آهن از طریق افزایش فتوسنتز، سنتز ترکیب‌های مختلف و تحریک رشد، به افزایش محتوای پروتئین‌های محلول برگ منجر شده باشد.

محتوی پرولین

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی و زمان اعمال آن‌ها بر محتوی پرولین برگ‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده سایر تیمارهای محلول پاشی در مراحل رویشی و زایشی سبب افزایش معنی‌دار محتوی پرولین برگ‌ها شدند. افزایش محتوی پرولین با اعمال تیمارها در ابتدای رشد زایشی بیش‌تر از رشد رویشی بود. بیش‌ترین افزایش محتوی پرولین در تیمارهای محلول پاشی آهن با غلظت ۸ و روی با غلظت ۴ در هزار به ترتیب با ۵۸ و ۶۰ درصد

افزایش نسبت به تیمار شاهد دیده شد. بررسی محلول پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن در آفتابگردان نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی افزایش سنتز و تجمع اسمولیت‌های سازگار قندهای محلول و پرولین در برگ‌ها را موجب شد (Babaeian *et al.*, 2011). نتایج این آزمایش نشان داد محلول پاشی در ابتدای رشد رویشی و زایشی با افزایش غلظت قندهای محلول و پرولین برگ نسبت به تیمار شاهد و با توجه به اثر این ترکیب‌ها در افزایش محتوی نسبی آب برگ و در نتیجه تنظیم پتانسیل اسمزی گیاه در جهت تعدیل شرایط تنش موثر واقع شد.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثرهای ساده محلول پاشی و زمان اعمال در ابتدای رشد رویشی و زمان گل‌دهی کاملینا بر صفت‌های مورد بررسی در شرایط دیم

تیمارها محلول پاشی	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	وزن هزار دانه (گرم)	محتوی روغن (درصد)	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر)	پروتئین‌های محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)
آهن ۴	۶۲۱۰ a [*]	۲۳/۴ a	۱/۰۸۸ a	۳۷/۷۲ bc	۱۷/۹۰ a	۱۳/۱۷ bc
آهن ۸	۶۳۹۴ a	۲۲/۳ a	۱/۰۷۰ a	۳۸/۸ ab	۱۸/۵۶ a	۱۸/۷۱ a
روی ۴	۶۱۵۴ a	۲۳/۰ a	۱/۱۰۷ a	۳۸/۹۷ ab	۱۸/۷۲ a	۱۵/۱۲ b
روی ۸	۶۲۹۶ a	۲۲/۷ a	۱/۰۴۸ a	۴۰/۶ a	۱۸/۱۰ a	۱۹/۲۱ a
شاهد	۵۹۷۵ a	۱۸/۷ b	۰/۸۲۷ b	۳۶/۳ c	۱۱/۶۹ b	۱۰/۷۳ c
زمان اعمال						
مرحله رویشی	۵۶۳۷/۰۴ b	۲۳/۱۵ a	۱/۰۵ a	۳۷/۸۲ b	۲/۰۱ b	۱۴/۱۰ a
مرحله زایشی	۶۷۷۴/۸۱ a	۲۰/۹۲ b	۱/۰۱ a	۳۹/۱۳ a	۲/۲۶ a	۱۶/۶۰ b

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸ بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ بر اساس سیستم کدبندی BBCH. اعداد با حروف یکسان در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

عملکرد زیست توده و شاخص برداشت

اثر تیمار محلول پاشی بر عملکرد زیست توده معنی‌دار نبوده، به طوری که بین تیمارهای محلول پاشی و شاهد تفاوتی مشاهده نشد، اما زمان محلول پاشی بر افزایش عملکرد زیست توده اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). تیمار محلول پاشی در زمان رشد زایشی سبب افزایش عملکرد زیست توده از ۵۶۳۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط شاهد به ۶۷۷۴ کیلوگرم در هکتار شد. از طرفی اثر زمان اعمال محلول پاشی بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود، اما سایر غلظت‌های محلول پاشی آهن و روی موجب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت شدند. البته بین میزان افزایش شاخص برداشت در تیمارهای مذکور تفاوت معنی‌دار دیده نشد، میزان افزایش شاخص برداشت در این شرایط از ۱۸/۹ درصد در شرایط شاهد به طور متوسط به ۲۳ درصد در تیمارهای محلول پاشی رسید (جدول ۵). در این باره Cakmak (۲۰۰۸) نشان داد که عنصر روی نقش مهمی در

تولید عملکرد زیست توده ایفا می نماید و مصرف روی و آهن به صورت مجزا از ترکیب آن ها اثرهای بهتری بر عملکرد زیست توده دارد. بنابراین به نظر می رسد در پژوهش حاضر محلول پاشی این عناصر عملکرد دانه را نسبت به عملکرد زیست توده بیش تر افزایش داده که این امر باعث افزایش شاخص برداشت شده است.

عملکرد دانه و اجزا آن

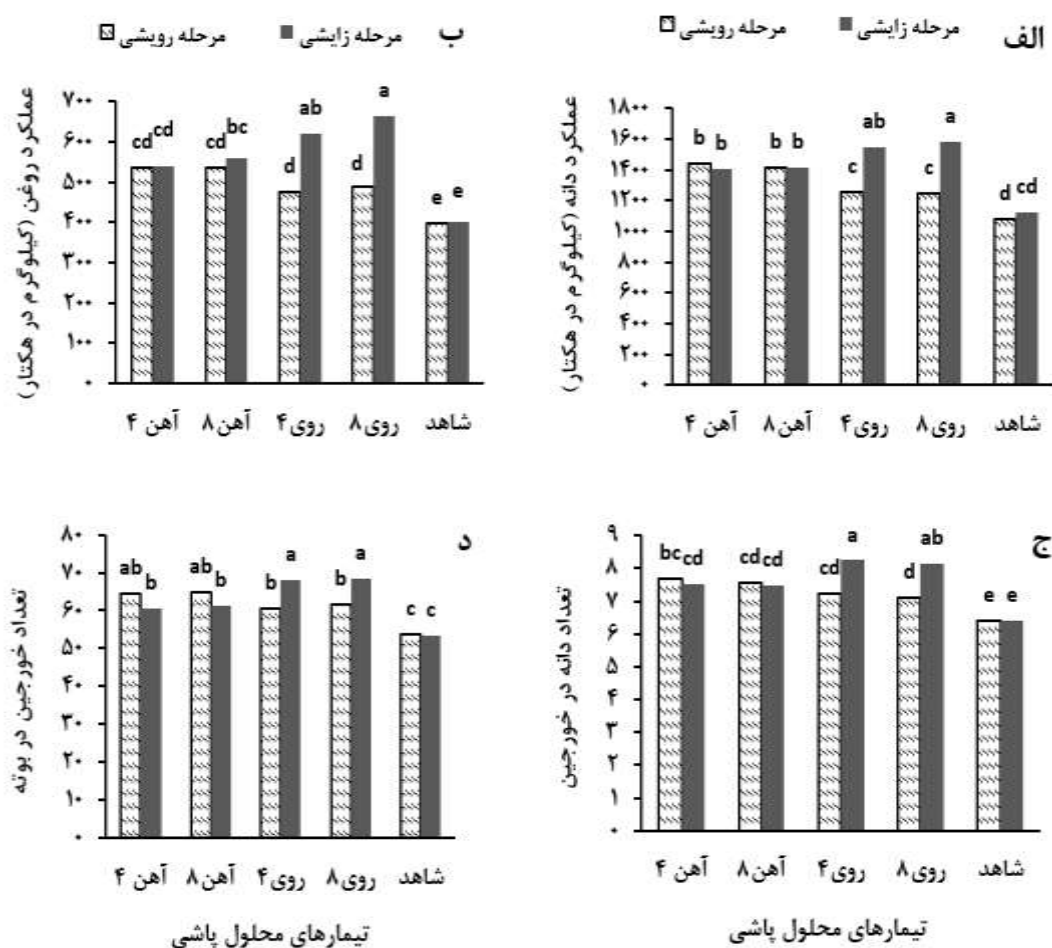
عملکرد دانه در تیمار شاهد عدم محلول پاشی به میزان ۱۰۹۹ کیلوگرم در هکتار بود، محلول پاشی غلظت های مختلف آهن و روی در ابتدای مرحله رشد رویشی و زایشی سبب افزایش معنی دار عملکرد دانه شدند (شکل ۲ الف). اثرپذیری عملکرد دانه از سولفات روی و آهن با توجه به زمان اعمال آن ها متفاوت بود. در مرحله رشد رویشی محلول پاشی آهن بر افزایش عملکرد دانه موثرتر واقع شد و این در حالی بود که محلول پاشی روی در ابتدای مرحله زایشی اثر بیشتری بر افزایش عملکرد دانه داشت. به طور کلی بیش ترین عملکرد دانه در تیمار محلول پاشی سولفات روی با غلظت ۸ در هزار در ابتدای مرحله زایشی با ۱۵۸۰ کیلوگرم در هکتار (۴۴ درصد بیش تر از شاهد) به دست آمد که البته تفاوت معنی داری با غلظت ۴ در هزار آن در همین مرحله نداشت. علاوه بر این درصد افزایش عملکرد دانه با محلول پاشی سولفات روی در مرحله زایشی نسبت به سولفات آهن در مرحله رویشی به طور میانگین در حدود ۱۲ درصد بالاتر بود. در همین رابطه ضیائی و همکاران (۱۳۹۹) عنوان نمودند که در شرایط تنش خشکی محلول پاشی با سولفات روی و منگنز می تواند سبب تعدیل و کاهش اثرهای ناشی از تنش خشکی در گیاه کینوا نسبت به شرایط عدم محلول پاشی شود، به طوری که محلول پاشی با سولفات روی سبب افزایش ۲۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم محلول پاشی گردید که البته این افزایش ۱۳ درصد بالاتر از اعمال تیمار محلول پاشی سولفات منگنز بود. تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته در واکنش به غلظت های آهن و روی به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند. بیش ترین افزایش تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته مربوط به تیمار محلول پاشی سولفات روی با غلظت ۸ در هزار بود که به ترتیب سبب افزایش ۲۷ و ۲۸ درصدی این صفات نسبت به شاهد شدند. بررسی مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای محلول پاشی بر صفت وزن هزار دانه نشان داد که تیمارهای محلول پاشی در ابتدای رشد رویشی و زایشی کاملینا موجب افزایش معنی دار وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شدند که البته بین زمان های اعمال آن ها تفاوت معنی داری مشاهده نشد و افزایش وزن هزار دانه نسبت به شاهد مربوط به تیمار محلول پاشی روی با غلظت ۴ در هزار با ۳۴ درصد افزایش بود که البته تفاوت معنی داری با سایر تیمارهای محلول پاشی نداشت (جدول ۵). به طور کلی با توجه به این که تغییرات اجزا عملکرد دانه تا حد زیادی به میزان فتوسنتز طی مراحل گل دهی و غلاف دهی بستگی دارد، بنابراین وجود هر عامل محدود کننده فتوسنتز در این دوره باعث کاهش اجزا عملکرد می شود. در این پژوهش نیز هم زمانی مرحله زایشی کاملینا با تنش خشکی انتهای فصل در

منطقه موجب کاهش اجزای عملکرد دانه شامل تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه در خورجین شد. اثر مثبت آهن و روی در واکنش به شرایط تنش خشکی بر اجزای عملکرد در مطالعه‌های مختلفی گزارش شده است. Ebrahimiyan و Bybordi (۲۰۱۱) و در رابطه با اثر محلول پاشی Rahmani و همکاران (۲۰۱۹) عنوان نمودند که بهبود صفت‌های فیزیولوژیک گلرنگ در اثر تیمارهای محلول پاشی روی منجر به افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد دانه و در نهایت عملکرد گردید. علاوه بر این بهبود اجزای عملکرد می‌تواند به دلیل اثر قابل توجه عنصر روی بر اندام‌های گل از جمله پرچم و دانه‌های گرده باشد که در گیاهان خودگشن افزایش فعالیت پرچم‌ها می‌تواند موجب افزایش تعداد گل‌های بارور و در نهایت تعداد غلاف در بوته شود (Nadergoli *et al.*, 2011) که این نتایج در تایید مشاهده‌های ما نیز می‌باشد، بنابراین در پژوهش حاضر تعداد خورجین در بوته را می‌توان به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد دانه محسوب کرد به طوری که بیش‌ترین تعداد خورجین با محلول پاشی سولفات روی در ابتدای رشد زایشی به دست آمد که بالاترین مقدار عملکرد دانه نیز مربوط به همین تیمار محلول پاشی بود، به عبارت دیگر اثر مثبت محلول پاشی آهن و روی بر اجزای عملکرد باعث افزایش میزان عملکرد دانه گردید، به طوری که افزایش تعداد خورجین در بوته بر تعداد دانه در بوته نیز افزوده شده که در نهایت بر عملکرد کل دانه اثر مثبتی داشت.

درصد و عملکرد روغن

نتایج بررسی مقایسه میانگین اثر ساده محلول پاشی غلظت‌های مختلف آهن و روی نشان داد که سایر تیمارها سبب افزایش درصد روغن دانه نسبت به تیمار شاهد شدند. بیش‌ترین افزایش معنی‌دار درصد روغن نسبت به تیمار شاهد (۳/۳۶ درصد) مربوط به تیمار سولفات روی با غلظت ۸ در هزار (۴۰/۶ درصد) با ۱۱/۸ درصد افزایش بود. هم‌چنین سایر تیمارهای محلول پاشی آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد (با ۳۹۹ کیلوگرم روغن در هکتار) شدند. بیش‌ترین افزایش عملکرد روغن دانه در واکنش به تیمارهای محلول پاشی روی با غلظت ۴ و ۸ در هزار در ابتدای مرحله رشد زایشی به ترتیب با ۶۱۹ و ۶۶۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۵۵ و ۶۶ درصد افزایش نشان دادند. Sinha و Singh (۲۰۰۵) کاهش درصد روغن گیاهان روغنی در شرایط تنش را به افزایش اکسیداسیون برخی از اسیدهای چرب غیراشباع نسبت داده‌اند. احتمالاً کمبود عناصر ریز مغذی به ویژه روی در چنین شرایطی باعث کاهش سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده که منجر به خسارت به غشای لیپیدی می‌شود. از این رو کمبود روی می‌تواند باعث کاهش میزان روغن دانه شود. در این پژوهش نیز درصد روغن در تیمار شاهد نسبت به سایر تیمارهای محلول پاشی کم‌تر بود. در تأیید نتایج این پژوهش مبنی بر اثر مثبت ریزمغذی‌ها بر افزایش درصد روغن دانه Malakooti و همکاران (۲۰۱۷) افزایش کمیت و کیفیت روغن، و سایر صفت‌های فیزیولوژیک در شرایط محلول پاشی

عناصر روی و آهن را در سویا گزارش نمودند. عملکرد روغن گیاهان روغنی از مهم‌ترین مولفه‌ها بوده، و خود تابعی است از عملکرد و درصد روغن دانه، که بر اساس نتایج ما عملکرد دانه نسبت به درصد روغن بر افزایش عملکرد روغن در واکنش به تیمارهای محلول‌پاشی اثر بیشتری داشت. با توجه به این‌که رشد و عملکرد نهایی گیاه بستگی به ساختار اندام‌های زایشی و بهبود تسهیم مواد پرورده دارد، و عناصر روی و آهن نقش قابل توجهی را در این مورد ایفا می‌نمایند، به‌طوری‌که افزایش و بهبود عملکرد و روغن دانه در شرایط این پژوهش با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌تواند به افزایش فرایند فتوسنتز و انتقال مواد پرورده به دانه‌ها در نتیجه افزایش فعالیت‌های آنزیمی و سایر فعالیت‌های فیزیولوژیک مرتبط با این عناصر نسبت داده شود.



شکل ۳: اثر برهم‌کنش تیمارهای محلول‌پاشی سولفات آهن و روی و زمان اعمال آن‌ها بر صفات الف) عملکرد دانه ب)

عملکرد روغن ج) تعداد دانه در خورجین د) تعداد خورجین در بوته.

آهن و روی ۴ و ۸: منظور محلول‌پاشی با غلظت‌های ۴ و ۸ در گرم در لیتر آهن و روی است. مرحله رویشی: ابتدای مرحله رشد رویشی یا کد ۱۰۸

بر اساس سیستم کدبندی BBCH و مرحله زایشی: زمان گل‌دهی یا کد ۶۰۵ بر اساس سیستم کدبندی BBCH.

در هر سطح محلول‌پاشی میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

اگرچه بررسی‌های بیش‌تری در زمینه کاربرد عناصر روی و آهن به‌ویژه در شرایط دیم باید انجام شود، اما نتایج به-دست آمده در شرایط این پژوهش نشان داد، بهبود جذب آهن و روی از طریق محلول پاشی با در نظر گرفتن زمان اعمال تیمارهای محلول پاشی موثر واقع شد، به طوری که با افزایش محتوای اسید آمینه پرولین، پروتئین‌های محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی، قندهای محلول و هم‌چنین بهبود سرعت فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و با توجه به تاریخ برداشت (۴ تیر ماه) و عدم بارندگی در خرداد ماه، احتمالاً این عناصر توانستند نقش مهمی در مقابله با اثر منفی تنش خشکی ایجاد شده در گیاه و در نهایت افزایش عملکرد ایفا نمایند و این موارد بیان‌گر نقش احتمالی این عناصر در تعدیل اثر تنش خشکی در هر یک از مراحل نمو رشد کاملینا می‌باشد. بنابراین در چنین شرایطی محلول پاشی در زمان مناسب به‌ویژه در ابتدای رشد رویشی و زایشی می‌تواند به‌عنوان راهکار زراعی مناسبی به‌منظور تعدیل اثرهای تنش در گیاهان محسوب شود. علاوه بر این با توجه به مزایای گیاه کاملینا در مقایسه با سایر دانه‌های روغنی رایج و امکان کشت دیم در زراعت آن، توسعه کشت این گیاه می‌تواند موجب افزایش سطح زیرکشت دانه‌های روغنی و استفاده کارآمدتر از دیم‌زارهای کشور، حفظ آب و در نتیجه کاهش وابستگی به واردات دانه‌های روغنی شود.

منابع

- بی‌نام، ۱۳۹۵. تولید و تجارت محصولات اساسی بخش کشاورزی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ - ۱۳۹۵. گزارش معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مجلس شورای اسلامی. ۹۹ صفحه.
- پاینده، خ.، مجدم، م. و دروگر، ن. ۱۳۹۷. کاربرد عناصر ریزمغذی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰(۳۸): ۳۷-۲۳.
- رحمتی ف.، سیف‌زاده س.، جباری ح.، ولدآبادی ع.ر. و حدیدی‌ماسوله ا. ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و محلول پاشی روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و زراعی ارقام گلرنگ. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۷): ۴۳-۲۷.
- ضیائی، س.م.، سلیمی، خ. و امیری، س.ر. ۱۳۹۹. بررسی کشت کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) تحت فواصل مختلف آبیاری و محلول پاشی در منطقه سراوان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲(۴۵): ۱۲۵-۱۱۳.

عباسی ن.، چراغی ج. و حاجی نیا س. ۱۳۹۸. تأثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به صورت نانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ (۴۳): ۸۵-۱۰۴.

موسویان س.ن.، اکبری ن.، عیسوند ح.ر.، اسماعیلی ا. و مشتقی ع. ۱۳۹۹. اثر سطوح مختلف نیتروژن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم رقم چمران (*Triticum aestivum* L.) در شرایط تنش گرمای آخر فصل در اهواز. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۲ (۴۶): ۲۵-۴۴.

Abedi, T. and Pakniyat, H. 2010. Antioxidant enzymes changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. 46(1): 27-34.

AOAC. 1990. Official methods of analysis association of official analytical chemists: 15th, Arlington, Virginia, USA.

Babaeian, M., Tavassoli, A., Ghanbari, A., Esmailian, Y. and Fahimifard, M. 2011. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (Alstar cultivar) under water stress at three stages. African Journal of Agricultural Research. 6(5): 1204-1208.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207.

Beauchamp, C. and Fridovich, I. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry. 44(1): 276-287.

Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72(1-2): 248-254.

Bybordi, A. and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae. 2(1): 94-103.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil. 302(1-2): 1-17.

Carocho, M. and Ferreira, I.C. 2013. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. Food and Chemical Toxicology. 51: 15-25.

Chance, B. and Meahly, A. 1995. Assay of catalase and peroxidase pp: 764-775. Methods in Enzymology. Academic press. Inc. New York.

Ebrahimian, E. and Bybordi, A. 2011. Effect of iron foliar fertilization on growth, seed and oil yield of sunflower grown under different irrigation regimes. Middle East Journal of Scientific Research. 9(5): 621-627.

Hessini, K., Martínez, J.P., Gandour, M., Albouchi, A., Soltani, A. and Abdely, C. 2009. Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. *Environmental and Experimental Botany*. 67(2): 312-319.

Ibrahim, F.M. and El Habbasha, S. 2015. Chemical composition, medicinal impacts and cultivation of camelina (*Camelina sativa*). *International Journal of PharmTech Research*. 8: 114-122.

Jain, R. and Srivastava, R. 2007. Factorial experiments—some variations. IASAI Library Avenue, New Delhi-110012.389-392.

Kahrizi, D., Rostami, A. H. and Akbarabadi, A. 2015. Feasibility Cultivation of Camelina (*Camelina sativa*) as Medicinal-Oil Plant in Rainfed Conditions in Kermanshah-Iran's First Report. *Journal of Medicinal Plants and By-products*. 2: 215-217.

Khan, R., Gul, S., Hamayun, M., Shah, M., Sayyed, A., Ismail, H. and Gul, H. 2016. Effect of foliar application of zinc and manganese on growth and some biochemical constituents of *Brassica juncea* grown under water stress. *Americ-Eura. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 16: 984-997.

Larsson, M. 2013. Cultivation and processing of *Linum usitatissimum* and *Camelina sativa* in southern Scandinavia during the Roman Iron Age. *Vegetation History and Archaeobotany*. 22(6): 509-520.

Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. In: Portland Press Ltd.

Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A. and Kondracka, K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*. 27: 463-477.

Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y. and Guo, T. 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 8: 860-866.

Malakooti, S. H., Majidian, M., Ehteshami, S.M. and Rabiee, M. 2017. Evaluation of iron and zinc foliar and soil application on quantitative and qualitative characteristics of two soybean cultivars. *The IIOAB Journal*. 8(3): 1-7.

Morales, D., Potlakayala, S., Soliman, M., Daramola, J., Weeden, H., Jones, A., Kovak, E., Lowry, E., Patel, P. and Puthiyaparambil, J. 2017. Effect of Biochemical and Physiological Response to Salt Stress in *Camelina sativa*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 48(7): 716-729.

Martinelli, T. and Galasso, I. 2011. Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 158(1):87-94.

Nadergoli, M., Yarnia, M. and Khoei, F. R. 2011. Effect of zinc and manganese and their application method on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. CV. Khomein). Middle East Journal of Scientific Research. 8(5): 859-865.

Pavlista, A., Hergert, G., Margheim, J. and Isbell, T. 2016. Growth of spring camelina (*Camelina sativa*) under deficit irrigation in Western Nebraska. Industrial Crops and Products. 83: 118-123.

Pourmorad, F., Hosseinimehr, S. and Shahabimajid, N. 2006. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. African Journal of Biotechnology. 5(11): 1142-1145.

Rahmani, F., Sayfzadeh, S., Jabbari, H., Valadabadi, S. A. and Masouleh, E. H. 2019. Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. International Journal of Plant Production. 13(4): 297-308.

Ramezani, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G. and Sayyari-Zahan, M. 2012. Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of Ajowan (*Carum copticum*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS). 4(7): 421-426.

Rout, G. R. and Sahoo, S. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. Reviews in Agricultural Science. 31-24.

Sheligl, H. 1986. Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. Planta Journal. 4751.

Singh, S. and Sinha, S. 2005. Accumulation of metals and its effects in *Brassica juncea* (L.) Czern.(cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. Ecotoxicology and Environmental Safety. 62(1): 118-127.

Sinha, A. K. 1972. Colorimetric assay of catalase. Analytical biochemistry. 47(2): 389-394.

Sintim, H. Y., Zheljzakov, V. D., Obour, A. K., Garcia y Garcia, A. and Foulke, T. K. 2016. Evaluating agronomic responses of camelina to seeding date under rain-fed conditions. Agronomy Journal. 108(1): 349-357.

Srivastava, A. and Malhotra, S. 2017. Nutrient use efficiency in perennial fruit crops—A review. Journal of Plant Nutrition. 40(13): 1928-1953.

Torabian, S., Zahedi, M. and Khoshgoftar, A. H. 2016. Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. Journal of Plant Nutrition. 39(2): 172-180.

Waraich, E. A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Naeem, M. S. and Rengel, Z. 2013. 'Camelina sativa', a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: A review. Australian Journal of Crop Science. 7(10): 1551-1559.

Waraich, E. A., Ahmad, R., Ahmad, Z., Barutcular, C., Erman, M., Cig, F., Saneoka, H. and Ozturk, F. 2020. Comparative study of growth, physiology and yield attributes of camelina (*Camelina sativa* L.) and canola (*Brassica napus* L.) under different irrigation regimes. Pakistan Journal of Botany. 52(5): 1537-1544.

Zanetti, F., Eynck, C., Christou, M., Krzyzaniak, M., Righini, D., Alexopoulou, E., Stolarski, M. J., Van Loo, E. N., Puttick, D. and Monti, A. 2017. Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada. Industrial Crops and Products. 107: 602-608.

Zolfaghari Gheslghi, M., Pasari, B., Shams, K., Rokhzadi, A. and Mohammadi, K. 2019. The effect of micronutrient foliar application on yield, seed quality and some biochemical traits of soybean cultivars under drought stress. Journal of Plant Nutrition. 42(20): 2715-2730.

Effect of Foliar Application of Iron and Zinc Sulphate on Yield and some Physiological Characteristics of *Camelina sativa* L. crantz) in Rainfed Conditions

M. Azhand¹, M. Saeidi^{*2}, A. Beheshti Al Agha³ and D. Kahrizi⁴

1) PhD Student of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.

2 & 3) Associate Professor of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.

4) Professor of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Razi University, Kermanshah. Iran.

*Corresponding author: msaeidi@razi.ac.ir

This article is extracted from Ph.D. thesis.

Received date: 21.06.2020

Accepted date: 26.09.2021

Abstract

Lack of moisture and calcareous of agricultural soils are the main factors reducing the efficiency of absorption of micronutrients such as iron and zinc from soil solution and reducing the yield of crops in most rainfed areas. Therefore, in order to evaluate the effect of foliar application of different concentrations of ferrous and zinc sulphate in rainfed conditions on grain yield and some physiological characteristics of *Camelina*, the present research was conducted as a factorial experiment in a randomized complete blocks design with three replications in Kermanshah during the cropping year 2017-2018. Experimental treatments include foliar application of micronutrients at five levels (no foliar application and foliar application of iron sulphate and zinc at concentrations of 4 and 8 per thousand) and the factor of foliar application time at two levels at the beginning of vegetative growth and the time of *Camelina* flowering. Based on the obtained results, using foliar application treatments significantly increased the grain yield compared to the control treatment. The highest increase in grain and oil yield was related to the foliar application treatment of zinc at 8 per thousand level and at flowering time, which increased these traits from 1099 and 399 in control conditions to 1580 and 663 kilogram per hectare, respectively. Foliar application treatments and their application time caused a significant increase in other agronomic traits such as biomass yield, harvest index, number of pods per plant, number of seeds per pod, one thousand-seed weight, oil percentage and also physiological traits include concentrations of chlorophyll a and b, soluble sugars, proline and activity rate of superoxide dismutase antioxidant enzymes, peroxidase and catalase of leaves. But they had no significant effect on the content of carotenoids and total phenol. The highest additive effect on the investigated physiological treatment was related to the application of zinc sulphate at 4 per thousand levels at the beginning of generative growth, which increased the activity of antioxidant enzymes and catalase and superoxide dismutase by 85 percent on average.

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Photosynthetic pigments and soluble sugars.