نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۷، خرداد - تیر ۱۴۰۲، ص. ۲۵۹-۲۴۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 17, Jun.-Jul. 2023, p. 247-259

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک ارقام کلزا به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن در رژیم‌های مختلف رطوبتی

حمیدرضا ذاکرین[۱*]، سعید سیف‌زاده[۲]، سید علیرضا ولدآبادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

چکیده

کلزا (*Brassica napus* L.) دارای ۴۰ تا ۴۶ درصد روغن و غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع می‌باشد و ارزش غذایی بالایی دارد. تنش‌های غیر زنده از قبیل تنش خشکی سبب کاهش عملکرد کمی و کیفی بسیاری از گیاهان زراعی در کشورهای در حال توسعه می‌شود. به‌منظور ارزیابی اثر کاربرد برگی عناصر ریزمغذی روی و آهن بر رشد و عملکرد کلزا تحت شرایط کم‌آبیاری، این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۸۹ در دو منطقه قزوین و کرج به صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری: ۱- آبیاری کامل، ۲- قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و ۳- قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی و چهار سطح عناصر ریزمغذی: ۱- صفر (به‌عنوان شاهد)، ۲- کاربرد برگی روی، ۳- کاربرد برگی آهن و ۴- کاربرد برگی روی + آهن، به‌صورت فاکتوریل ۴ × ۳ به‌عنوان کرت‌های اصلی و دو رقم کلزا: ۱- آرجی‌اس۳۰۰ و ۲- ساری‌گل به‌عنوان کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که عملکرد دانه، محتوای رطوبت نسبی برگ و اسیدهای چرب لینولئیک، پالمیتیک و استئاریک به‌ترتیب در واکنش به تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و کمبود عناصر ریزمغذی، کاهش یافت و محلوپاشی برگی روی + آهن صفات اشاره شده در بالا را به‌ترتیب، ۱۳۶/۱۳، ۸/۲، ۷/۷۲، ۱۲/۸۷ و ۲۲/۵۵ درصد افزایش داد. صفات مقاومت روزنه‌ای، دمای سایه‌انداز، پرولین، کربوهیدرات محلول و اسیدهای چرب اولئیک، لینولنیک و اروسیک تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی در مقایسه با آبیاری کامل افزایش پیدا کرد. نتایج نشان داد که کاربرد تلفیقی روی و آهن به‌صورت محلول‌پاشی از طریق کاهش مقاومت روزنه‌ای، افزایش هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ سبب افزایش عملکرد دانه کلزا تحت شرایط تنش خشکی گردید.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب، تنش خشکی، پرولین، مقاومت روزنه‌ای، عملکرد دانه.

مقدمه

کلزا گیاهی از خانواده براسیکاسه است که دانه آن حاوی ۴۰ الی ۴۶ درصد روغن می‌باشد که منبع غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع است و از کیفیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است. در مقیاس جهانی حدود ۷۸ درصد از عرصه کشاورزی به‌طور دائمی و یا موقتی با پدیده خشکی درگیر است (صادق‌زاده اهری، ۱۳۹۶) که به‌صورت تغییرات بیوشیمیائی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک در گیاهان زراعی مختلف بروز می‌کند و از طریق کاهش متابولیسم گیاهان، هدایت روزنه‌ای و تبادل گازی، کاهش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه موجب کاهش عملکرد می‌شود (موحدی دهنوی و همکاران، ۱۳۹۷). محققان نشان دادند که بروز تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و تشکیل خورجین در کلزا منجر به کاهش عملکرد محصول گردید (اسکندری و عالیزاده امرایی، ۱۳۹۵). همچنین، گزارش شده است که تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و افزایش قند محلول و محتوای پرولین در برگ کلزا گردید (حاتم‌وند و همکاران، ۱۳۹۳ و جمشیدی زیناب و همکاران، ۱۳۹۴). محققان دیگری نشان دادند که قطع آبیاری در طی مراحل نموی سبب افزایش مقدار اسید اولئیک و کاهش مقدار اسید لینولئیک در روغن کلزا (جباری و همکاران، ۱۳۹۷) و گلرنگ (Ensiye and Khorshid, 2010) گردید. کمبود عنصر روی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در مقیاس جهانی به‌شمار می‌رود و در ایران تقریبا ۸۰

۱- استادیار، گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
(* نویسنده مسئول: (Email: drzakerin5@gmail.com

درصد زمین‌های زراعی دچار کمبود روی می‌باشند (Shahbazi and Basharati, 2013). عنصر روی به‌عنوان یک فعال‌کننده آنزیم‌های مختلف در گیاه و سوبسترا رشد بعضی از هورمون‌ها نظیر اکسین عمل می‌کند و سبب افزایش ذخیره هیدرات‌های کربن و طول دوره گرده-افشانی و افزایش عملکرد محصول می‌شود (Der *et al*., 2015). محققان گزارش کردند که کاربرد عنصر روی از طریق تسریع جوانه-زنی و رشد، استقرار سریع گیاهان و تسریع در شروع گل‌دهی، سبب افزایش عملکرد آفتابگردان (Cakmak, 2008) و کلزا (مجیدیان و همکاران، ۱۳۹۵) گردید. همچنین، گزارش شده است که عنصر روی سبب کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاهان و افزایش عملکرد دانه و سنتز اسیدهای چرب اولئیک اسید (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۴)، اسید لینولئیک (Sawan *et al*., 2006)، پالمیتیک اسید (Sawan, 2018) و استئاریک اسید (Joorabi *et al*., 2020) و افزایش محتوای آب نسبی برگ کنجد (میثاق و همکاران، ۱۳۹۴) گردید. از طرفی عنصر آهن برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی از جمله ساخت کلروفیل، تنفس، سیستم‌های اکسایش و احیا و فرآیند فتوسنتز ضرورت دارد و تحمل گیاهان به تنش خشکی را افزایش می‌دهد (شش‌بهره و موحدی دهنوی،۱۳۹۱). محققان نشان دادند که کاربرد عنصر آهن به‌صورت خاکی و محلول‌پاشی در شرایط تنش رطوبتی باعث افزایش غلظت کلروفیل، بهبود فتوسنتز، عملکرد دانه و درصد اسیدهای چرب اولیئک، لینولئیک و استئاریک و کاهش اسید پالمیتیک در روغن دانه گلرنگ (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۳) و کنجد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶) گردید. محققان دیگری نشان دادند که محلول‌پاشی آهن تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی سبب افزایش عملکرد دانه کنجد گردید (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش دیگری نشان داده شد که در اثر محلول‌پاشی کلات آهن میزان کربوهیدرات‌های محلول و رطوبت نسبی برگ گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی افزایش پیدا کردند (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰). با فرض این‌که عناصر ریزمغذی سبب کاهش اثرات منفی تنش‌های کم‌آبی و خشکی می‌شود، این آزمایش، با هدف بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک ارقام کلزا به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن در رژیم‌های مختلف آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در دو منطقه شامل ایستگاه تحقیقات کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قزوین واقع در اسماعیل‌آباد قزوین و مزرعه آزمایشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در مشکین‌آباد کرج اجرا گردید. این آزمایش به‌صورت اسپلیت‌فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری: ۱- آبیاری کامل، ۲- قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و ۳- قطع آبیاری از مرحله نمو خورجین‌ها و چهار سطحمحلول‌پاشی عناصر ریزمغذی: ۱- عدم مصرف کودهای ریزمغذی (تیمار شاهد)، ۲- روی، ۳- آهن و ۴- محلول‌پاشی ترکیبی روی + آهن و دو سطح ارقام کلزا: ۱- رقم آرجی‌اس۳۰۰ و ۲- رقم ساری‌گل بود. در این آزمایش، سطوح آبیاری و محلول‌پاشی به‌صورت فاکتوریل ۴ × ۳ در کرت اصلی و ارقام کلزا در کرت فرعی قرار گرفتند. قبل از اجرای آزمایش، از پنج نقطه خاک مزرعه به‌صورت زیگزاگی و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید و به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال گردید که نتایج آزمون خاک در جدول ۱ ارایه شده است. عملیات آماده‌سازی زمین زراعی در اواخر بهمن ماه انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مزرعه آزمایشی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

منطقه قزوین									
روی فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	**آهن فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)**	**پتاسیم فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)**	**فسفر فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)**	**بافت خاک**	**نیتروژن (%)**	**کربن آلی (%)**	**آهک (%)**	**هدایت الکتریکی (dSm^{-1})**	**PH**
۰/۶۲	۱/۲۲	۲۱۵	۶/۷	لومی	۰/۰۵	۰/۵	۷/۴۴	۱/۱	۷/۸
منطقه کرج									
روی فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	آهن فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	پتاسیم فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	فسفر فسفر قابل جذب ($mgkg^{-1}$)	بافت خاک	نیتروژن (%)	کربن آلی (%)	آهک (%)	هدایت الکتریکی (dSm^{-1})	PH
۰/۵۹	۱/۱۸	۳۲۸	۱۴/۸	لومی	۰/۰۹	۱/۱	۶/۹۸	۱/۶	۷/۱

براساس نتایج آزمون خاک مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار سوپرفسفات تریپل به‌صورت یکنواخت با یک دیسک سبک با خاک مخلوط و اقدام به ایجاد جوی و پشته‌های ۶۰ سانتی‌متری گردید. با توجه به این که تعیین تراکم

کاشت کلزا در شرایط زراعی میسر نیست، برای این منظور از مقدار معینی بذر در واحد سطح استفاده می‌شود. در این آزمایش، میزان بذر مصرفی در هر کرت بر مبنای ۸ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. همچنین، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه به‌شکل اوره مورد استفاده قرار گرفت که قسط اول کود نیتروژنه اوره در زمان کاشت به‌صورت دستی و نواری در زیر شیارهای کشت بذر، پخش گردید و قسط‌های دوم و سوم کود اوره در تاریخ ۱۷ اردیبهشت و ۵ خرداد به ترتیب مصادف با شروع ساقه‌دهی و قبل از شروع گل‌دهی به‌صورت سرک اعمال گردید. محلول‌پاشی عناصر روی و آهن با غلظت ۴ در هزار یک‌بار در مرحله گل‌دهی و سپس دو بار با فاصله ۱۵ روز تکرار گردید.

در این آزمایش، آبیاری به‌صورت سیفونی انجام شد و آب از کانال ورودی با سیفون وارد جویچه‌های بین پشته‌ها در هر کرت گردید و از طرف دیگر کرت‌ها خارج و وارد کانال آب خروجی گردید و خیس شدن کامل پشته‌های ایجاد شده و ردیف‌های کاشت بذور کلزا در اثر تراوش رطوبت و خاصیت موئینگی صورت گرفت تا از سله بستن خاک جلوگیری شود. بنابر این معیار آب‌دهی، خیس شدن کامل پشته‌ها بود و هدف اندازه‌گیری مقدار آب آبیاری نبود. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، به‌منظور تعیین عملکرد دانه با حذف حاشیه، سطحی معادل ۳/۶ متر مربع از چهار خط وسطی برداشت و با ترازوی دقیق توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در این آزمایش، با توجه به این که مقدار اسیدهای چرب روغن، میزان پرولین، مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ، محتوای رطوبت نسبی و مقاومت روزنه‌ای و به تبع آن هدایت روزنه‌ای به‌شدت تحت تاثیر تنش خشکی و کم‌آبی قرار می‌گیرند، مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفتند. تعیین اسیدهای چرب روغن به‌روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) انجام گردید (Tie *et al*., 2015). اندازه‌گیری میزان پرولین برگ به‌روش بیتز (Bates *et al*., 1975)، کربوهیدرات‌های محلول به‌روش دوبیس و همکاران (DuBois *et al*., 1956) و محتوای نسبی آب برگ به‌روش گونزالس و گونزالس ویلار (Gonzalez and Gonzalez-Vilar, 2003) انجام شد و مقاومت روزنه‌ای با دستگاه پرومتر Automatic Porometer AP_4 (Pasebaneslam *et al*., 2000) و دمای کانوپی با دماسنج مادون قرمز (عزیزی، ۱۳۷۷) اندازه‌گیری گردید. پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواختی اشتباه آزمایشی و نرمال بودن داده‌ها، برای تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

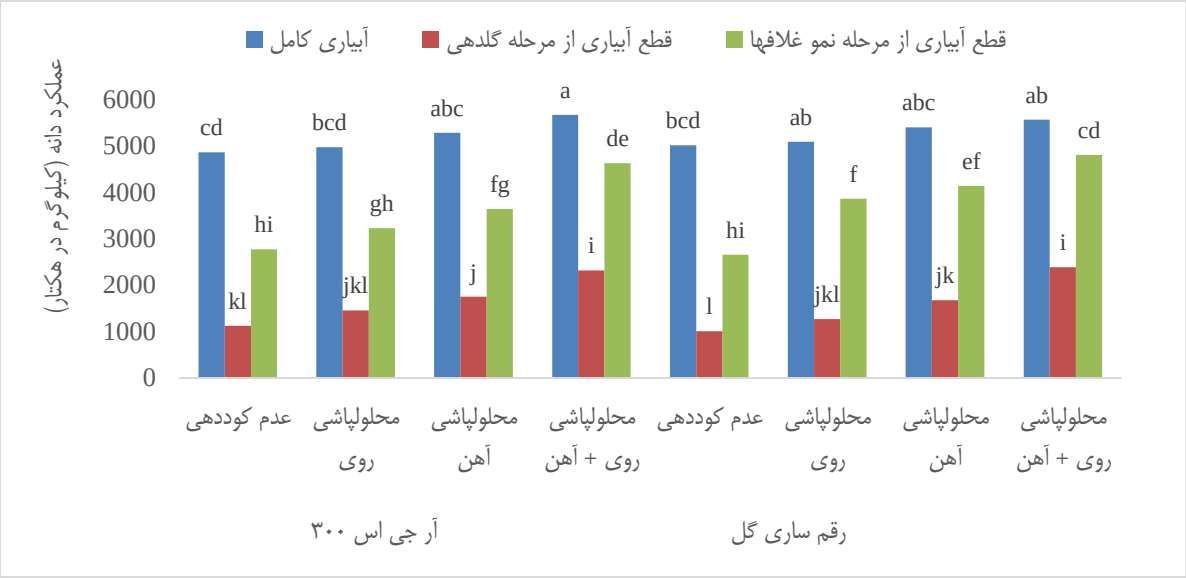
عملکرد دانه

در این آزمایش، اثر متقابل سه جانبه آبیاری، محلول‌پاشی و رقم بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی برگی روی + آهن بیش‌ترین (۵۶۶۸ کیلوگرم در هکتار) و رقم ساری‌گل در واکنش به قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، کم‌ترین عملکرد دانه (۱۰۱۰کیلوگرم در هکتار) را به‌خود اختصاص داد (شکل ۱). نتایج نشان داد که کم‌آبی و عدم کاربرد برگی عناصر غذایی روی و آهن سبب کاهش عملکرد دانه در ارقام کلزا گردید و تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی تا برداشت محصول سبب افت بیشتر عملکرد دانه در رقم ساری‌گل گردید. نتایج بیانگر آن است که تنوع ژنتیکی در بین ارقام کلزا برای تحمل تنش خشکی وجود دارد و عملکرد رقم آرجی‌اس۳۰۰ در مقایسه با رقم ساری‌گل بیشتر بود. با این وضعیت، تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، عملکرد دانه کلزا در واکنش به محلول‌پاشی ترکیبی روی و آهن به‌میزان ۱۳۶/۱۳ درصد افزایش پیدا کرد.

کاهش عملکرد دانه کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی احتمالا می‌تواند ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تبادل دی‌اکسید کربن، کاهش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی، کاهش طول دوره پرشدن دانه و برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه و محدود شدن جذب عناصر غذایی از خاک ار طریق ریشه باشد. محققان نشان دادند که عملکرد دانه کتان (موحدی دهنوی و همکاران ۱۳۹۶) و کلزا (Yousefi *et al*., 2011) در واکنش به تنش خشکی کاهش پیدا کرد. نصری و خلعتبری (۱۳۸۷) نشان دادند که مصرف آهن و روی در شرایط آبیاری کامل و تحت تنش خشکی موجب افزایش عملکرد دانه کلزا گردید. همچنین، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی سبب کاهش عملکرد دانه کنجد و محلول‌پاشی آهن سبب بهبود عملکرد آن گردید (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). محققان دیگری نشان دادند که مراحل گل‌دهی و نمو خورجین‌ها، در کلزا نسبت به خشکی حساس است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۵ و زالی و همکاران، ۱۳۹۹) و محلول‌پاشی عنصر آهن عملکرد دانه گلرنگ را در تنش خشکی بهبود بخشید (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۳).

محتوای نسبی آب برگ

رقم ساری‌گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی ترکیبی روی و آهن با میانگین ۹۶/۴۲ درصد، بیشترین و تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی با میانگین ۷۳/۲۱ درصد، کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ را به‌خود اختصاص داد (جدول ۳).



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دو رقم کلزا تحت تاثیر متقابل عناصر ریزمغذی روی و آهن × رژیم رطوبتی مختلف

نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی و فقدان عناصر غذایی روی و آهن سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ کلزا گردید و مرحله گل-دهی کلزا در رقم ساری‌گل نسبت به کم‌آبی حساسیت بیشتری نشان داد و کاربرد برگی عناصر روی و آهن در سطوح مختلف رژیم آبیاری، محتوای نسبی آب برگ کلزا را بهبود بخشید و در مقایسه با تیمار شاهد محتوای نسبی آب برگ رقم ساری‌گل را حدود ۸/۲ درصد افزایش داد. بالا بودن رطوبت نسبی برگ به‌عنوان شاخصی برای تحمل تنش خشکی محسوب می‌شود که گیاهان از طریق بستن روزنه‌ها و کاهش تلفات آب و یا به‌واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه ریشه موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ و فشار تورژسانس سلولی و تداوم فتوسنتز و بقای گیاه در شرایط کم‌آبی می‌شوند. جمشیدی زیناب و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که تنش خشکی سبب کاهش محتوای برگ آب نسبی در تمامی ارقام کلزا گردید. محققان دیگری نشان دادند تنش خشکی سبب کاهش رطوبت نسبی برگ گردید و محلول‌پاشی با کلات آهن رطوبت نسبی برگ گلرنگ را در شرایط تنش رطوبتی بهبود بخشید (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰). به‌علاوه، گزارش شده است که که محلول‌پاشی آهن و روی تحت شرایط تنش خشکی سبب افزایش محتوای آب نسبی برگ در آفتابگردان (عرب و همکاران، ۱۳۹۷) و کنجد (میثاق و همکاران، ۱۳۹۴) گردید. عناصر ریزمغذی روی و آهن احتمالا از طریق نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه، کاهش تلفات آب و اثرات سوء تنش خشکی در گیاهان زراعی باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ می‌شوند (جلیلی شش‌بهره و موحدی دهنوی، ۱۳۹۱).

مقاومت روزنه‌ای

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که رقم ساری‌گل تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم کاربرد عناصر ریزمغذی با میانگین ۹/۸۷ ثانیه بر سانتی‌متر، بیشترین و در شرایط شرایط آبیاری کامل و محلولپاشی توام روی و آهن با میانگین ۲/۱۶ ثانیه بر سانتی‌متر، کمترین مقاومت روزنه‌ای را به خود اختصاص داد (جدول ۳). نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی و عدم استفاده از عناصر ریزمغذی سبب افزایش مقاومت روزنه‌ای گیاه می‌شود. در این آزمایش، کمبود آب و عناصر غذایی ریزمغذی به‌ویژه از مرحله گل-دهی به بعد سبب افزایش مقاومت روزنه‌ای در برگ‌های کلزا در رقم ساری‌گل گردید تا با جلوگیری از خروج مولکول‌های آب و حفظ آب درون گیاه بتواند شرایط تنش کم‌آبی را تحمل کند.

به‌طوری که رقم ساری‌گل تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، بیش‌ترین مقاومت روزنه‌ای (۹/۸۷ ثانیه بر سانتی‌متر) و تحت شرایط محلول‌پاشی ترکیبی روی و آهن، کم‌ترین مقاومت روزنه‌ای (۷/۰۴ ثانیه بر سانتی-متر) را نشان داد و کاربرد برگی عناصر غذایی آهن و روی مقاومت روزنه‌ای در برگ کلزا رقم ساری‌گل را حدود ۲۸/۶۸ درصد کاهش داد. از نتایج چنین استنباط می‌شود که بسته شدن روزنه‌ها احتمالا نخستین علت کاهش فتوسنتز در شرایط تنش کم‌آبی می‌باشد و تنش خشکی از طریق افزایش مقاومت روزنه‌ای، کاهش هدایت روزنه‌ای، محدود کردن تبادل گازی دی‌اکسید کربن، نقصان ظرفیت فتوسنتزی گیاه و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه موجب کاهش عملکرد دانه در گیاهان زراعی می‌گردد (Sehga *et al*., 2018). در مطالعه مشابه‌ای، موحدی دهنوی و همکاران (۱۳۹۷) و جمشیدی زیناب و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند تنش خشکی به‌ترتیب سبب افزایش مقاومت روزنه‌ای در گلرنگ و کلزا گردید. محققان دیگری نشان دادند که عناصر غذایی روی و آهن تحت شرایط تنش کم‌آبی از طریق کاهش

مقاومت روزنه‌ای و افزایش هدایت روزنه‌ای و تبادلات گازی سبب بهبود وضعیت رشد گیاهان شد (جلیلی شش‌بهره و موحدی دهنوی،۱۳۹۱).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در دو رقم کلزا تحت تاثیر کاربرد برگی آهن و روی و تنش کم‌آبی

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	محتوای نسبی آب برگ	مقاومت روزنه‌ای	دمای کانوپی	میزان پرولین	کربوهیدرات محلول برگ
منطقه	۱	۱۶۰۱۹۱۲/۱۱۱^{ns}	۷۸/۳۳۴^{ns}	۱۶/۴۹۷^{ns}	۳۲/۱۰۷^{ns}	۳۸/۶۴۳^{ns}	۱۲۶/۴۶۷^{ns}
تکرار (منطقه)	۴	۱۵۲۴۳۷۳/۶۳۲	۲۵/۵۰۴	۷/۱۶۲	۱۸/۵۵۶	۱۵/۰۷۶	۴۶/۲۳۷
آبیاری	۲	۱۵۷۶۷۵۶۴۹/۵۹**	۳۷۷/۲۶۲**	۴۳۱/۴۶۵**	۸۸۵/۰۹۸^{ns}	۱۴۵۹/۵۹۲**	۴۷۸۹/۶۷۸**
منطقه × آبیاری	۲	۴۱۶۵۱۸/۷۵۷^{ns}	۲۸/۵۹۵^{ns}	۲/۲۴^{ns}	۱۱/۳۱^{ns}	۱۲/۹۳۲^{ns}	۴۴/۳۹۳^{ns}
محلول‌پاشی	۳	۱۱۲۶۷۸۱۴/۸۴۳**	۲۱۷/۳۶۱**	۳۵/۱۷۷**	۷۱/۰۳۵**	۱۱۵/۳۵۹**	۳۶۸/۹۵۳**
منطقه × محلول‌پاشی	۳	۶۰۸۲۷۴^{ns}	۱۷/۲۴۷^{ns}	۱/۰۶^{ns}	۳/۳۳۳^{ns}	۸/۸۲۲^{ns}	۲۷/۶۱۷^{ns}
آبیاری × محلول‌پاشی	۶	۹۱۳۰۲۷/۶^{ns}	۵۴/۵۹^{ns}	۳/۶۷۱^{ns}	۱۰/۹۰۴^{ns}	۱۴/۶۸۶*	۴۶/۰۷۷*
منطقه× آبیاری × محلول‌پاشی	۶	۳۸۱۲۹۱/۵۶۳^{ns}	۴۱/۷۴۷^{ns}	۲/۰۷۳^{ns}	۲/۵۴۱^{ns}	۴/۷۶۵^{ns}	۷/۹۷۳^{ns}
اشتباه آزمایشی اصلی	۴۴	۵۷۲۰۵۰/۸۶۷	۲۷/۱۸۳	۱/۹۶۲	۵/۴۱۴	۵/۴۹۱	۱۸/۵۵۳
رقم	۱	۳۴۳۰۰۵/۴۴۴^{ns}	۱۷/۹۹۲^{ns}	۲/۵۴۴*	۴/۸۰۳^{ns}	۰/۷۳^{ns}	۹/۸۲^{ns}
منطقه × رقم	۱	۲۱۷۰۰۰/۶۹۴^{ns}	۳/۵۲۲^{ns}	۰/۷۳۴^{ns}	۲/۳۲۶^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
آبیاری × رقم	۲	۴۲۶۹۰۴/۹۲۴^{ns}	۵/۴۲۹^{ns}	۰/۶۰۷^{ns}	۰/۲۵۹^{ns}	۱/۲۰۵^{ns}	۱۴/۸۷۴^{ns}
منطقه × آبیاری× رقم	۲	۱۳۳۳۴۴/۴۲۴^{ns}	۸/۵۶۷^{ns}	۰/۷۹۳^{ns}	۰/۵۶۳^{ns}	۱/۸۴۱^{ns}	۱۲/۶۸۲^{ns}
محلول‌پاشی × رقم	۳	۹۸۳۴۶/۵۹۳^{ns}	۲/۱۰۹^{ns}	۰/۴۱۸^{ns}	۱/۷۴۸^{ns}	۱/۳۰۹^{ns}	۱۴/۵۲۵^{ns}
منطقه × محلول‌پاشی × رقم	۳	۲۷۷۱۲۶/۵۴۶^{ns}	۶/۹۷۴^{ns}	۰/۷۳۸^{ns}	۱/۵۵۵^{ns}	۲/۴۵۴^{ns}	۸/۱۹۷ ^{ns}
آبیاری × محلول‌پاشی × رقم	۶	۳۵۶۴۹۹/۴۳۳*	۲۵/۰۴۹*	۳/۳۶۱*	۵/۱۵*	۲/۹۳۲*	۴۲/۸۵*
منطقه × آبیاری× محلول‌پاشی × رقم	۶	۱۸۳۴۲۷/۴۷^{ns}	۳/۷۸۹^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۲/۳۹۷^{ns}	۲/۵۳۱^{ns}	۷/۰۶۷^{ns}
اشتباه آزمایشی فرعی	۴۸	۲۲۸۳۵۴/۶۱۱	۵/۲۵۳	۰/۴۸۹	۲/۲۱۲	۱/۵۹۸	۷/۹۲۷
ضریب تغییرات (درصد)	–	۱۳/۵۶	۱۲/۷	۱۲/۷۴	۶/۴۴	۸/۷۸	۱۷/۹۲

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری شده در دو رقم کلزا تحت تاثیر کاربرد برگی آهن و روی و تنش کم‌آبی

منبع تغییرات	درجه آزادی	اولئیک اسید	لینولئیک اسید	لینولئیک اسید	پالمتیک اسید	استئاریک اسید	اروسیک اسید
منطقه	۱	۳/۳۶۹^{ns}	۳/۵۹۵^{ns}	۱/۷۲۶^{ns}	۰/۷۰۸^{ns}	۲/۱۱۲^{ns}	۱۷۶/۷۵۷^{ns}
تکرار (منطقه)	۴	۱/۸۲۵	۲/۵۶۳	۱/۱۵۹	۰/۲۵۱	۱۳/۲۶۵	۷۸/۸۵۶
آبیاری	۲	۴۲/۸۵۸**	۱۶۶/۳۰۳**	۵۴/۵۱۶**	۱۶/۸۶۷**	۶۸۶/۷۷۷**	۷۱۲۴/۲۳۳**
منطقه × آبیاری	۲	۰/۳۲۱^{ns}	۱/۵۶۲^{ns}	۰/۳۸۱^{ns}	۰/۰۶۹^{ns}	۱۸/۷۸۹^{ns}	۴۸/۷۸۱^{ns}
محلول‌پاشی	۳	۲/۳۵**	۱۳/۰۴۸**	۴/۹۷**	۱/۶۳۹**	۵۷/۹۸**	۴۶۵/۱۷۲**
منطقه × محلول‌پاشی	۳	۰/۱۶۹^{ns}	۰/۵۱^{ns}	۰/۱۱۵^{ns}	۰/۰۶۹^{ns}	۴/۲۰۷^{ns}	۲۱/۱۵۳^{ns}
آبیاری × محلول‌پاشی	۶	۰/۷۹۴^{ns}	۱/۲۸۹^{ns}	۰/۱۲۳^{ns}	۰/۱۲۸^{ns}	۱۴/۳۵۷^{ns}	۹۱/۳۰۱^{ns}
منطقه× آبیاری × محلول‌پاشی	۶	۰/۳۳^{ns}	۰/۹۶۴^{ns}	۰/۰۹۵^{ns}	۰/۰۳۵^{ns}	۶/۵۹۴^{ns}	۵۸/۴۶۹^{ns}
اشتباه آزمایشی اصلی	۴۴	۰/۲۹۶	۰/۸۷۲	۰/۲۴۱	۰/۰۵۹	۷/۹۲۳	۴۲/۶۶۲
رقم	۱	۰/۱۴۷^{ns}	۱/۱۳۲*	۰/۳۸۲*	۰/۰۹۳^{ns}	۰/۲۶۲^{ns}	۳۹/۲۷۱^{ns}
منطقه × رقم	۱	۰/۰۲۶^{ns}	۰/۱۱۹^{ns}	۰/۱۰۹^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۱/۲۵۳^{ns}	۱۰/۰۲۸^{ns}
آبیاری × رقم	۲	۰/۰۶۸^{ns}	۰/۱۰۲^{ns}	۰/۱۱۱^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}	۱/۷۲۸^{ns}	۵/۶۵۳^{ns}

منطقه × آبیاری× رقم	۲	۰/۱۹۷^{ns}	۰/۷۴۶^{ns}	۰/۰۸۵^{ns}	۰/۰۲۶^{ns}	۳/۶۵۵^{ns}	۲۴/۱۴۲^{ns}
محلول‌پاشی × رقم	۳	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۱۵^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۴/۲۷۹^{ns}	۲/۹۵۶^{ns}
منطقه × محلول‌پاشی × رقم	۳	۰/۰۵۶^{ns}	۰/۲۲۱^{ns}	۰/۰۵۲^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۸/۸۴۸^{ns}	۱۱/۴۵۹^{ns}
آبیاری × محلول‌پاشی × رقم	۶	۲/۱۹۵*	۱/۱۴۹*	۰/۹۶۸*	۰/۱۱۹*	۹/۸۳۹*	۴۱/۲۳۹*
منطقه × آبیاری× محلول‌پاشی × رقم	۶	۰/۰۸^{ns}	۰/۱۴۸^{ns}	۰/۰۵۲^{ns}	۰/۰۲۱^{ns}	۴/۳۰۲^{ns}	۵/۰۵۱^{ns}
اشتباه آزمایشی فرعی	۴۸	۰/۰۱۴	۰/۲۷۸	۰/۰۷۵	۰/۰۲۵	۶/۴۲۲	۱۱/۲۷۲
ضریب تغییرات (درصد)	–	۲/۷۶	۲/۷۶	۴/۴۹	۲/۹	۸/۸۳	۱۱/۷۲

^{ns}، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در دو رقم کلزا تحت در واکنش به کاربرد برگی عناصر ریزمغذی آهن و روی تحت شرایط کم-آبی

رژیم آبیاری	محلول-پاشی	رقم	عملکرد دانه ($kg.h^{-1}$)	محتوای نسبی آب برگ (%)	مقاومت روزنه‌ای ($s.cm^{-1}$)	دمای کانوپی (C°)	پرولین برگ در مرحله خورجین دهی ($\mu mol.g^{-1}$ FW)	کربوهیدرات محلول ($mg.g^{-1}$ FW)
آبیاری کامل	شاهد	آرجی-اس۳۰۰	۴۸۶۴cd	۹۱/۶۳ab	۳/۲۶gh	۲۰/۱۸fgh	۱۰/۴۳hi	۲۷/۷۸kl
		ساری‌گل	۵۰۱۲bcd	۹۱/۹۳ab	۳/۲۳gh	۱۹/۶gh	۱۰/۳۲hi	۲۸/۲۵jkl
	عنصر روی	آرجی-اس۳۰۰	۴۹۷۶bcd	۹۲/۱ab	۲/۹۵ghi	۱۹/۶۷vgh	۹/۴۹hij	۲۷/۲۹kl
		ساری‌گل	۵۰۹۱ab	۹۲/۴a	۲/۹۱ghi	۱۸/۸h	۱۰/۰۷hij	۲۷/۱۶kl
	عنصر آهن	آرجی-اس۳۰۰	۵۲۸۴abc	۹۲/۸۳a	۲/۶۷ghi	۱۸/۷۸h	۹/۸۳hij	۲۶/۳۳kl
		ساری‌گل	۵۴۰۲abc	۹۲/۷۶a	۲/۴۴ghi	۱۸/۵۳h	۹/۰۱ij	۲۵/۲۵l
	آهن + روی	آرجی-اس۳۰۰	۵۶۶۸a	۹۳/۱۱a	۲/۳۹hi	۱۸/۵۸h	۸/۶۱j	۲۵/۱۴l
		ساری‌گل	۵۵۶۶ab	۹۳/۴۲a	۲/۱۶i	۱۹h	۹/۱۸ij	۲۵/۱۴l
قطع آبیاری از مرحله گل-دهی	شاهد	آرجی-اس۳۰۰	۱۱۲۲kl	۷۳/۲۶h	۹/۷۷a	۲۹/۲a	۲۳/۷۷a	۵۱/۵۲ab
		ساری‌گل	۱۰۱۰l	۷۳/۲۱h	۹/۸۷a	۲۹/۱۲a	۲۳/۶۲a	۵۳/۰۴a
	عنصر روی	آرجی-اس۳۰۰	۱۴۵۶jkl	۷۳/۸۶h	۹/۲۱ab	۲۸/۶a	۲۱/۵۱b	۴۸/۸۱bc
		ساری‌گل	۱۲۷۰jkl	۷۳/۹۴h	۹/۱ab	۲۸/۴۸a	۲۱/۲۵b	۴۷/۲۵cd
	عنصر آهن	آرجی-اس۳۰۰	۱۷۵۰j	۷۴/۷۲h	۸/۶b	۲۷/۴۷ab	۱۹/۲۹c	۴۴/۴۷d
		ساری‌گل	۱۶۷۷jk	۷۴/۴۸h	۸/۴۸b	۲۷/۴۵ab	۱۹/۷۶c	۴۴/۶۶d
	آهن + روی	آرجی-اس۳۰۰	۲۳۱۷i	۷۷/۷۱g	۷/۴۶c	۲۵/۸۷bc	۱۷/۱d	۳۹/۷۶ef
		ساری‌گل	۲۳۸۵i	۷۹/۶۸fg	۷/۰۴c	۲۵/۱c	۱۷/۱۴d	۴۰/۹۵e
قطع آبیاری از مرحله نمو خورجین‌ها	شاهد	آرجی-اس۳۰۰	۲۷۷۰hi	۸۰/۷۶f	۶/۸۶c	۲۴/۹۷c	۱۵/۵۷d	۳۷/۳۱fg
		ساری‌گل	۲۶۵۷hi	۸۰/۵۱f	۶/۸۸c	۲۵/۶۷bc	۱۵/۶۸d	۳۷/۸۸efg
	عنصر روی	آرجی-اس۳۰۰	۳۲۲۶gh	۸۵/۷۱c	۵/۷۱d	۲۳/۱۷d	۱۳/۹۲e	۳۶/۰۶gh
		ساری‌گل	۳۸۶۱f	۸۸/۵۸cd	۴/۷۱ef	۲۱/۷۳def	۱۲/۷۸ef	۳۲/۸۶hi

عنصر آهن	آرجی-اس۳۰۰	۳۶۴۱fg	۸۶/۰۷de	۵/۲۵de	۲۲/۹۲de	۱۳/۴۶ef	۳۵/۳۲gh
	ساری‌گل	۴۱۳۷ef	۸۹/۱bc	۴/۲۱f	۲۱/۱۳efg	۱۲/۰۸fg	۳۱/۴۵ij
آهن + روی	آرجی-اس۳۰۰	۴۶۳۱de	۹۱/۵۴ab	۳/۳۴g	۱۹/۷۸gh	۱۰/۶۴ghi	۲۹/۸۴ijk
	ساری‌گل	۴۸۰۷cd	۹۱/۷۸ab	۳/۲۵gh	۲۰/۱۸fgh	۱۱/۰۲gh	۲۹/۱۸jk

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در دو رقم کلزا تحت در واکنش به کاربرد برگی عناصر ریزمغذی آهن و روی تحت شرایط کم‌آبی

رژیم آبیاری	محلول-پاشی	رقم	اولئیک اسید (%)	لینولئیک اسید (%)	لینولئیک اسید (%)	پالمتیک اسید (%)	استئاریک اسید (%)	اروسیک اسید (%)
آبیاری کامل	شاهد	آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۱۴g	۲۰/۳۳bcd	۵/۶۳۵hig	۵/۸۲۲cd	۳/۱۰۷abc	۰/۱۹۴۴f
		ساری‌گل	۶۳/۰۲g	۲۰/۴۱bcd	۵/۲۹۷jkl	۵/۸۳۵bcd	۳/۲۸۹ab	۰/۱۸۹۱f
	عنصر روی	آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۱۹g	۲۰/۶۷ab	۵/۲۱۱klm	۵/۸۷۴abc	۳/۰۹۹abc	۰/۱۸۶۴f
		آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۲۵g	۲۰/۷۴ab	۵/۱۸۳k-n	۵/۹۲abc	۳/۱۱۳abc	۰/۱۷۹۸f
		ساری‌گل	۶۲/۹۸g	۲۰/۶abc	۵/۱۰۹l-o	۵/۹۷۲abc	۳/۳۷۳a	۰/۱۷۱۱f
	عنصر آهن	آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۰۹g	۲۰/۷۹ab	۴/۹۳۵mno	۶/۰۲۷abc	۳/۲۴۳ab	۰/۱۶۵۲f
		ساری‌گل	۶۳/۱۴g	۲۰/۹۸ab	۴/۸۴۱no	۶/۰۶۳a	۳/۲۷۸ab	۰/۱۵۹۹f
	آهن + روی	آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۱۷g	۲۱/۱۹a	۴/۸۱o	۶/۰۴۱ab	۳/۲۷۸ab	۰/۱۵۶۸f
		ساری‌گل	۶۵/۴a	۱۶/۴۵i	۷/۷۵۷ab	۴/۴۷۵l	۲/۱۸۶i	۰/۴۴۲۹a
قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی	شاهد	آرجی-اس۳۰۰	۶۵/۳۱a	۱۶/۴۶i	۷/۷۷۲a	۴/۴۹۹l	۲/۲۰۵i	۰/۴۳۹۴a
		ساری‌گل	۶۵/۱۸ab	۱۶/۸i	۷/۴۲۲b	۴/۶۴۳l	۲/۳۷۹hi	۰/۴۳۲۵a
	عنصر روی	آرجی-اس۳۰۰	۶۵/۱۸ab	۱۶/۷۶i	۷/۴۴۴ab	۴/۶۶۴kl	۲/۴۲۲ghi	۰/۴۳۳۱a
		ساری‌گل	۶۴/۷۶cd	۱۷/۰۷i	۷/۰۸۵c	۴/۸۴۴jk	۲/۵۵۵fgh	۰/۴۲۱۹ab
	عنصر آهن	آرجی-اس۳۰۰	۶۴/۸۳bc	۱۷/۰۷i	۷/۰۷۲c	۴/۸۴۴ij	۲/۶۳۶e-h	۰/۴۲۴ab
		ساری‌گل	۶۴/۸۲bc	۱۷/۷۲h	۶/۶۸۶d	۵/۰۵۱hi	۲/e-h۶۷۹	۰/۳۸۵۴bc
	آهن + روی	آرجی-اس۳۰۰	۶۴/۴۷cd	۱۸/۲gh	۶/۶۸۷d	۵/۱۰۲h	۲/۷۱۴d-g	۰/۳۵۴۶c
		ساری‌گل	۶۴/۳۸d	۱۸/۴۴g	۶/۳۶۷def	۵/۱۶۴gh	۲/۷۹۷c-f	۰/۳۵۰۴c
قطع آبیاری از مرحله نمو خورجین‌ها	شاهد	آرجی-اس۳۰۰	۶۴/۴۲cd	۱۸/۳۲gh	۶/۳۸۱de	۵/۱۵۶gh	۲/۷۹c-f	۰/۳۵۱c
		ساری‌گل	۶۴e	۱۹/۱۸f	۶/۲۲۷efg	۵/۲۳۸fg	۲/۸۶۲c-f	۰/۲۸۵۷d
	عنصر روی	آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۷۱e	۱۹/۸۸de	۵/۹۰۴gh	۵/۵۱۹ef	۲/۹۴۴b-e	۰/۲۴۶de
		ساری‌گل	۶۳/۹۴e	۱۹/۳۲ef	۶/۰۳۵fg	۵/۴۷۴ef	۳/۰۳۳a-d	۰/۲۷۸۵de
	عنصر آهن	آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۶۳ef	۱۹/۹۲cde	۵/۶۸۸hi	۵/۶۵۱de	۳/۱۳۵abc	۰/۲۳۹۳e
		ساری‌گل	۶۳/۲۴fg	۲۰/۵۸abc	۵/۴۸ijk	۵/۸۳۵bcd	۳/۰۵۴a-d	۰/۱۹۱f
	آهن + روی	آرجی-اس۳۰۰	۶۳/۳۱fg	۲۰/۵۴a-d	۵/۴۴۴i-l	۵/۸۶۴abc	۲/۷۴۵def	۰/۱۹۶۴f

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن ندارند.

دمای کانوپی

براساس اثر متقابل سه جانبه تیمارها، رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با میانگین ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد، بیش‌ترین و رقم ساری-گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی آهن با میانگین ۱۸/۵۳ درجه سانتی‌گراد، کم‌ترین دمای کانوپی را داشتند. نتایج نشان داد که دمای کانوپی ارقام مختلف کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی متفاوت بود که می‌تواند ناشی از تفاوت ارقام کلزا در تولید اندام‌های هوایی باشد و تراکم پایین اندام‌های هوایی گیاها سبب نفوذ بیشتر نور به داخل گیاه می‌شود و به تبع آن دمای کانوپی افزایش پیدا می‌کند. بدین ترتیب، احتمالا آبیاری و کاربرد آهن از طریق افزایش رشد و تراکم اندام‌های هوایی در رقم ساری‌گل سبب کاهش دمای کانوپی کلزا می‌شود. محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل-دهی، نسبت به عدم محلول‌پاشی آن‌ها، موجب کاهش ۱۱/۴۰درصدی دمای کانوپی در رقم آرجی‌اس۳۰۰ گردید. نتایج این آزمایش با یافته‌های تحقیقاتی دیگر مشابه بود (Antoli *et al.*, 2010). در پژوهش دیگر مشخص شد که بیشترین دمای کانوپی گندم تحت شرایط عدم مصرف کود روی به‌دست آمد (عباسی و شکاری، ۱۳۹۵). چون عنصر روی سبب افزایش رشد اندام‌های هوایی گندم می‌شود و با افزایش تبخیر سبب کاهش دمای کانوپی می‌گردد (Cakmak, 2009).

میزان پرولین

در این آزمایش، رقم آر جی اس ۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به بعد و عدم محلول‌پاشی با عناصر غذایی ریزمغذی بیش‌ترین میزان پرولین (۲۳/۷۷ میکرومول بر گرم وزن تر) و در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی ترکیبی آهن و روی، کم‌ترین میزان پرولین (۸/۶۱ میکرو مول بر گرم وزن تر) را نشان داد (جدول ۳) و محدودیت آب آبیاری و کمبود عناصر غذایی آهن و روی بسته به رقم کلزا سبب افزایش محتوای پرولین برگ کلزا گردید. نتایج نشان داد که میزان پرولین در واکنش به تنش‌های محیطی اعم از تنش خشکی و محدودیت عناصر غذایی در برگ کلزا افزایش یافته و می‌تواند شاخصی برای ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی در کلزا محسوب شود. کاربرد برگی و همزمان عناصر ریزمغذی آهن و روی در تمامی سطوح آبیاری سبب کاهش محتوای پرولین در برگ‌های کلزا گردید و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی با بیش‌ترین میزان سنتز پرولین، محلول‌پاشی مجزا و ترکیبی عناصر غذایی آهن و روی در مقایسه با تیمار شاهد، میزان پرولین در برگ‌های رقم ساری-گل را حدود ۲۷/۴۳ درصد کاهش داد. محققان دیگری نشان دادند که تنش کم‌آبی باعث افزایش پرولین در برگ‌های کلزا (حاتم‌وند و همکاران، ۱۳۹۳ و جمشیدی زیناب و همکاران، ۱۳۹۴) گردید. در تحقیق دیگری مشخص شد که در واکنش به محلول‌پاشی کلات آهن میزان پرولین برگ گلرنگ در شرایط تنش کم‌آبی افزایش پیدا کرد (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰).

میزان کربوهیدرات محلول

در این آزمایش، رقم ساری‌گل در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم کاربرد عناصر غذایی آهن و روی، بیش‌ترین میزان کربوهیدرات محلول برگ (۵۳/۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و هر دو رقم آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی ترکیبی روی و آهن، کم‌ترین میزان کربوهیدرات محلول برگ (۲۵/۱۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۳). نتایج نشان داد که تحت شرایط کمبود آب و عناصر غذایی ریزمغذی بسته به رقم تجمع کربوهیدرات محلول در برگ رقم ساری‌گل افزایش پیدا کرد و کاربرد برگی و همزمان عناصر غذایی ریزمغذی آهن و روی در تمامی سطوح رژیم آبیاری سبب کاهش قابل توجه میزان کربوهیدرات محلول برگ در هر دو رقم مورد مطالعه کلزا گردید. نتایج گواه آن است که اعمال تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی به بعد دارای آثار منفی بیشتری بر صفات مختلف اندازه‌گیری شده در کلزا بود و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی تلفیقی عناصر غذایی ریزمغذی روی و آهن در مقایسه با تیمار شاهد موجب کاهش میزان کربوهیدرات محلول برگ را در رقم آرجی-اس۳۰۰ به‌میزان ۲۲/۸۲ درصد و در رقم ساری‌گل حدود ۲۲/۷۹ درصد گردید. محققان دیگری نشان دادند که تحت شرایط تنش خشکی اسمولیت‌های قندی در سیتوسول برگ کلزا (جمشیدی زیناب و همکاران، ۱۳۹۴و حاتم‌وند و همکاران ۱۳۹۳) افزایش پیدا کرد. قندهای محلول برگ در شرایط تنش کم‌آبی احتمالا متابولیسم گیاه را افزایش می‌دهند و به‌عنوان یک سیستم دفاع داخلی فشار آماس سلولی را در سطح مناسب نگه داشته و بدین ترتیب تحمل گیاهان را در برابر تنش خشکی بهبود می‌بخشد. محققان دیگری دریافتند که کاربرد برگی کلات آهن سبب افزایش کربوهیدرات‌های محلول گلرنگ در شرایط تنش رطوبتی گردید (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۰).

اولئیک اسید

مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه رژیم آبیاری، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و رقم نشان داد که رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی با میانگین ۶۵/۴ در صد، بیش‌ترین و در شرایط شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی آهن با میانگین ۶۲/۹۸ در صد، کم‌ترین میزان اسید چرب غیر اشباع اولئیک

اسید روغن کلزا را به‌خود اختصاص داد (جدول ۳). نتایج نشان داد که مقدار اسید چرب غیر اشباع اولئیک اسید در روغن کلزا در واکنش به محدودیت‌های آبی و عناصر غذایی ریزمغذی افزایش و کیفیت روغن‌های تولید شده ارتقا پیدا کرد. در این آزمایش، قطع آبیاری به‌ویژه از مرحله گل‌دهی به بعد و عدم کاربرد برگی عناصر ریزمغذی تاثیر مثبت بر میزان اولئیک اسید روغن در رقم آرجی‌اس۳۰۰ داشت و در شرایط انجام عملیات آبیاری و محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی سبب کاهش نسبی غلظت اولئیک اسید در روغن کلزا گردید. بدین ترتیب، در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی عناصر غذایی ریزمغذی میزان اولئیک اسید را حدود ۱/۴۳ درصد کاهش داد. در مطالعه مشابه‌ای گزارش شده است که تحت شرایط تنش خشکی مقدار اسید چرب غیر اشباع اسید اولئیک در روغن سویا (Joorabi *et al*., 2022) و کنجد (Ozkan and Kulak, 2013) به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. برخی محققان نشان دادند که قطع آبیاری از مراحل نموی سبب افزایش اسید اولئیک روغن کلزا در مقایسه با تیمار شاهد شد (جباری و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعه بر روی سویا (Gao *et al*., 2009) نیز گزارش شده است که تنش خشکی و کم‌آبیاری سبب افزایش اولئیک اسید روغن گردید. محققان دیگری گزارش کردند که کاربرد عنصر روی سبب افزایش اسید چرب غیر اشباع اولئیک گردید (Baybordi and Mamedov, 2010). همچنین، محققان دیگری نشان دادند که قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و عدم استفاده از آهن سبب افزایش میزان اولئیک اسید روغن کنجد گردید (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

لینولئیک اسید

بیشترین میزان اسید چرب غیر اشباع لینولئیک اسید (۲۱/۱۹ درصد) به رقم ساری‌گل تحت شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی ترکیبی آهن و روی و کم‌ترین لینولئیک اسید (۱۶/۴۵درصد) به رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی اختصاص داشت (جدول ۳). واکنش ارقام کلزا از نظر صفت لینولئیک اسید به تنش کم‌آبی و محدودیت عناصر غذایی به‌ویژه از مرحله گل‌دهی به بعد متفاوت بود و سبب افت غلظت لینولئیک اسید در رقم آرجی‌اس۳۰۰ در مقایسه با رقم ساری‌گل گردید (جدول ۳). کاربرد برگی عناصر غذایی آهن و روی در سطوح مختلف رژیم آبیاری سبب بهبود محتوای لینولئیک اسید در روغن کلزا گردید و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی به‌عنوان حساس‌ترین مرحله رشد کلزا در مقابل تنش کم‌آبی، محلول‌پاشی تلفیقی با آهن و روی در مقایسه با تیمار شاهد، موجب افزایش لینولئیک اسید رقم آرجی‌اس۳۰۰ به‌میزان ۷/۷۲ درصد گردید. محققان دیگری نشان دادند که مقدار لینولئیک اسید روغن سویا (Gao *et al*., 2009) و کنجد (Ozkan and Kulak, 2013) تحت شرایط تنش خشکی کاهش یافت. محققان دیگری نشان دادند که مقدار تمامی اسیدهای چرب روغن گلرنگ از قبیل لینولئیک اسید تحت تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و نمو دانه کاهش پیدا کرد (Ensiye and Khorshid, 2010). جباری و همکاران (۱۳۹۷) نیز بیان نمودند که قطع آبیاری در طی مراحل نموی مقدار اسید لینولئیک روغن کلزا کاهش چشم‌گیری پیدا کرد. به‌علاوه، فتحی امیرخیز و همکاران (۱۳۹۳) دریافتند که در تحت شرایط تنش کم‌آبی سطوح محلول‌پاشی آهن موجب افزایش اسید لینولئیک در روغن گلرنگ گردید.

لینولنیک اسید

در این آزمایش، رقم ساری‌گل در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم کاربرد عناصر غذایی ریزمغذی بیش‌ترین میزان اسید چرب لینولنیک (۷/۷۲ درصد) در شرایط شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی تلفیقی آهن و روی کم‌ترین لینولنیک اسید (۴/۸۱ درصد) را به‌خود اختصاص داد. نتایج نشان داد که تحت شرایط تنش کم‌آبی، عدم استفاده از عناصر غذایی سبب ساخت حداکثر میزان لینولنیک اسید در رقم ساری‌گل تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی گردید. محلول‌پاشی ترکیبی عناصر غذایی آن و روی در تمامی سطوح رژیم آبیاری سبب کاهش میزان لینولنیک اسید در هر دو رقم کلزا گردید و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، میزان لینولنیک اسید را در رقم ساری‌گل حدود ۱۳/۹۶درصد کاهش داد. به‌نظر می‌رسد که کاربرد برگی عناصر غذایی آهن و روی احتمالا سبب رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود و سبب افزایش عملکرد دانه در واحد سطح می‌شود و غلظت اسیدهای چرب روغن را کاهش می‌دهد. به‌عبارت دیگر، افزایش انرژی حاصل از محلول‌پاشی آهن و روی در ارقام کلزا بیش‌تر صرف تولید دانه می‌شود و با افزایش عملکرد دانه، کمیت اسیدهای چرب با افت مواجه می‌شود. محققان دیگری نشان دادند که مقدار تمامی اسیدهای چرب روغن گلرنگ تحت شرایط قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و نمو دانه کاهش پیدا کردند (Ensiye and Khorshid, 2010).

پالمتیک اسید

در این آزمایش، رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی تلفیقی روی و آهن با میانگین ۶/۰۶۳ درصد، بیش‌ترین و تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با میانگین ۴/۴۷۵ درصد، کم‌ترین میزان پالمتیک اسید را دارا بود (جدول ۳). نتایج نشان داد تنش کم‌آبی و عدم کاربرد عناصر غذایی آهن و روی سبب کاهش علظت پالمیتیک اسید گردید و کاربرد برگی عناصر غذایی ریزمغذی میزان پالمیتیک اسید موجود

در روغن کلزا را تحت رژیم‌ها مختلف آبیاری افزایش داد. رقم آرجی-اس۳۰۰ در واکنش به تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی و عدم کاربرد برگی عناصر غذایی آهن و روی بیش‌ترین کاهش پالمیتیک اسید را نشان داد. یدین ترتیب، در حساس‌ترین مرحله رشد کلزا به تنش کم-آبی (از مرحله گل‌دهی به بعد)، محلول‌پاشی ترکیبی روی و آهن نسبت به عدم محلول‌پاشی آن‌ها، میزان پالمیتیک اسید روغن کلزا را در حساس‌ترین رقم (آرجی‌اس۳۰۰) حدود ۱۲/۸۷ درصد افزایش داد. محققان دیگری دریافتند که مقدار پالمتیک اسید موجود در روغن سویا (Gao *et al*., 2009) در پاسخ به اعمال تیمار تنش خشکی کاهش پیدا کرد. محققان دیگری نشان دادند که استفاده از کود حاوی عنصر روی سبب افزایش درصد پالمیتیک اسید در روغن کلزا (کلانتر احمدی و شوشی دزفولی، ۱۳۹۹) گردید. محققان دیگری نشان دادند که کاربرد روی سبب افزایش درصد پالمیتیک اسید در روغن گردید (Sawan *et al*., 2006 and Sawan, 2018). همچنین، گزارش شده است که تحت شرایط کم‌آبیاری، محتوای پالمیتیک اسید روغن گلرنگ در واکنش به محلول‌پاشی آهن کاهش نشان داد (فتحی امیرخیز و همکاران، ۱۳۹۳) و تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی کنجد بیش‌ترین میزان پالمیتیک در شرایط عدم استفاده از آهن به‌دست آمد (ایوبی زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

استئاریک اسید

نتایج نشان داد که رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی آهن بیش‌ترین میزان اسید چرب اشباع‌شده استئاریک اسید (۳/۳۷۳ درصد) و تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر غذایی ریزمغذی کم‌ترین استئاریک اسید (۲/۱۸۶ درصد) را به‌خود اختصاص داد (جدول ۳). نتایج بیانگر آن است که غلظت استئاریک اسید بسته به رقم و شرایط محیطی تغییر می‌کند. به‌طوری که، میزان استئاریک اسید روغن کلزا در واکنش به تنش خشکی به‌ویژه اعمال تنش کم‌آبی از مرحله گل‌دهی در هر دو رقم کاهش یافت و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در سطوح مختلف رژیم آبیاری سبب بهبود میزان استئاریک اسید گردید. بدین ترتیب، در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی ترکیبی با آهن و روی نسبت به تیمار شاهد، موجب افزایش استئاریک اسید در روغن رقم آرجی‌اس۳۰۰ به‌میزان ۲۲/۵۵ درصد گردید. در مطالعه مشابه‌ای گزارش شده است که تمامی اسیدهای چرب روغن گلرنگ تحت شرایط قطع آبیاری از مراحل گل‌دهی کاهش پیدا کردند (Ensiye and Khorshid, 2010). همچنین، گزارش شده است که بیشترین میزان استئاریک اسید در واکنش به کاربرد برگی عنصر روی تولید گردید (کلانتر احمدی و شوشی دزفولی، ۱۳۹۹). محققان دیگری نشان دادند که بیشترین میزان استئاریک اسید در روغن گلرنگ تحت تاثیر کاربرد عنصر روی (Habibi *et al*., 2014 and Joorabi *et al*., 2020) و عدم استفاده از عنصر آهن (ایوبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹) به‌دست آمد.

اروسیک اسید

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه جانبه تیمارها نشان داد که رقم آرجی‌اس۳۰۰ در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و عدم محلول‌پاشی عناصر غذایی ریزمغذی آهن و روی بیش‌ترین میزان اروسیک اسید (۰/۴۴ درصد) و رقم ساری‌گل در شرایط شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی تلفیقی با عناصر غذایی آهن و روی، کم‌ترین اروسیک اسید (۰/۱۶ درصد) را به‌خود اختصاص دادند (جدول ۳). نتایج بیانگر آن است که تنش کم‌آبی و محدودیت عناصر غذایی آهن و روی به‌ویژه در شرایط قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی بسته به رقم کلزا سبب افزایش اروسیک اسید روغن کلزا می‌گردد و کیفیت روغن کلزا را کاهش می‌دهد. در این آزمایش، کاربرد هم‌زمان عناصر غذایی آهن و روی سبب کاهش محتوای اروسیک اسید در روغن ارقام کلزا و بهبود کیفیت روغن آن گردید. به‌طوری که تحت شرایط قطع آبیاری در حساس‌ترین مرحله رشد کلزا به تنش کم‌آبی (گل‌دهی به بعد)، محلول‌پاشی تلفیقی آهن و روی در مقایسه با تیمار شاهد، سبب کاهش اروسیک اسید در رقم ساری‌گل، به‌میزان ۱۹/۲۹ درصد گردید. شیرانی‌راد و همکاران (۱۳۹۲) نیز گزارش کردند که قطع آبیاری کلزا در مرحله گل‌دهی منجر به افزایش میزان اسید اروسیک روغن دانه گردید. در این آزمایش، با توجه به این که کاهش اسید اروسیک روغن کلزا یکی از شاخص‌های مهم افزایش کیفیت روغن محسوب می‌شود، کاربرد عناصر ریزمغذی روی و آهن با کاهش میزان اسید اروسیک سبب بهبود کیفیت روغن کلزا گردید (Flakelar *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که تنش کم‌آبی سبب کاهش رشد و عملکرد دانه در هر دو رقم آرجی‌اس۳۰۰ و ساری‌گل گردید. قطع آبیاری از مرحله گلدهی اثر منفی بیشتری بر عملکرد کلزا در مقایسه با قطع آبیاری از مرحله نمو خورجین‌ها داشت. کاربرد برگی عناصر ریزمغذی روی و آهن تمامی صفات اندازه‌گیری شده را در رژیم‌های مختلف رطوبتی تحت تاثیر مثبت قرار داد. در این مطالعه، کاربرد ترکیبی روی و آهن تحت شرایط تنش کم‌آبی از طریق بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ، هدایت روزنه‌ای و رشد بوته‌ها، عملکرد دانه کلزا را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. بدین‌ترتیب، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و آهن می‌تواند برای بهبود کمیت و کیفیت عملکرد کلزا تحت شرایط کم‌آبی قابل توصیه باشد.

منابع

اسکندری، ح. و عالیزاده امرایی، ا. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری تکمیلی در مرحله رشد زایشی بر عملکرد دانه، روغن و کارآیی انرژی سیستم تولید کلزا در شرایط دیم. به زراعی کشاورزی. ۱۸(۴): ۹۱۹-۹۰۷.

ایوبی‌زاده، ن.، لایی، ق.، امینی دهقی، م.، سینکی، ج.م. و رضوان بیدختی، ش. ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و نانوکلات آهن و اسید فولویک بر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه دو رقم کنجد. به زراعی کشاورزی. ۲۲(۲): ۲۴۳-۲۳۱.

جباری، ح.، خوش‌خلق سیما، ن. ا. و شیرانی‌راد، ا.ح. ۱۳۹۷. تغییرات ترکیب اسیدهای چرب روغن دانه در ارقام پاییزه کلزا در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. ۳۰(۳): ۸۱-۶۶.

جلیلی شش‌بهره، ج. و موحدی دهنوی، م. ۱۳۹۱. اثر محلول‌پاشی روی و آهن بر بنیه بذر سویا رشد کرده در شرایط تنش خشکی. تولید گیاهان زارعی. ۵(۱): ۶۵-۴۹.

جمشیدی زیناب، ا.، حسنلو، ط. و ناجی، ا. م. ۱۳۹۴. ارزیابی تحمل به خشکی جهار رقم کلزا براساس خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۳(۳): ۵۹۷-۵۸۳.

حبیبی، م.، مجیدیان، م. و ربیعی، م. ۱۳۹۴. اثر عناصر بور، روی و گوگرد بر عملکرد دانه و ترکیب اسیدهای چرب کلزا. مجله تولید گیاهان زراعی. ۱۶(۱): ۸۴-۶۹.

حاتم وند، م.، حسنلو، ط.، دهقان نیری، ف.، شیرانی‌راد، ا.ح.، طباطبایی، س.ع. و حسینی، س.م. ۱۳۹۳. بررسی برخی شاخص-های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام کلزا تحت تنش خشکی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۷(۲): ۱۸۵-۱۷۳.

حیدری، م.، گلیج، م.، قربانی، ه. و برادران فیروزآبادی، م. ۱۳۹۶. تاثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن بر عملکرد دانه، محتوای یونی و رنگدانه‌های نورساختی کنجد. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶(۴): ۶۲۸-۶۱۹.

زالی، ح.، حسنلو، ط. سفالیان ا. و اصغری. ع. ۱۳۹۹. بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه در ارقام کلزا. تنشهای محیطی در علوم زراعی. ۱۳(۳): ۷۴۷-۷۳۷.

صادق‌زاده اهری، د. ۱۳۹۶. اثر اندازه بذر بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی و تحمل به تنش خشکی نخود. به زراعی کشاورزی. ۱۹(۱): ۸۵-۶۹.

شیرانی‌راد، ا.ح.، مرادی اقدم، ا.، طاهرخانی، ت. و نیک پناه، ح. ۱۳۹۲. تاثیر تاریخ کاشت زمستانه بر صفات کمی و کیفی ارقام بهاره کلزا در رژیم‌های مختلف رطوبتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی تاکستان.

عباسی، ا. و شکاری، ف. ۱۳۹۵. اثر سولفات روی بر رشد و عملکرد گندم در شرایط کمبود روی خاک و تنش خشکی. تحقیقات غلات. ۶(۲): ۱۵۸-۱۴۵.

عزیزی، م. ۱۳۷۷. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کود پتاسیم بر خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سویا. پایان نامه دکترا زراعت. دانشگاه فردوسی مشهد.

عرب، ر.، یدوی، ع. ر.، بلوچی، ح.ر. و خادم حمزه. ح.ر. ۱۳۹۷. اثر دور آبیاری و محلولپاشی عناصر آهن و روی بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد آفتابگردان. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۵(۲): ۹۰-۷۷.

فتحی امیرخیز، ک.، امینی دهقی، م. و حشمتی، س. ۱۳۹۳. اثر روشهای مصرف کلات آهن بر عملکرد، اجزای عملکرد، ترکیب اسیدهای چرب و میزان روغن دانه گلرنگ بهاره رقم گلدشت در شرایط کم آبیاری. مجله علوم زراعی ایران. ۱۶(۴): ۳۲۱-۳۰۸.

کلانتر احمدی، ا. و شوشی دزفول، ا. ع. ۱۳۹۹. اثرات محلولپاشی ریزمغذی‌ها بر عملکرد دانه و کیفیت روغن کلزا تحت شرایط تنش خشکی. مجله علوم زراعی ایران. ۲۱(۳): ۲۵۳-۲۳۷.

مجیدیان، م.، شجاع، ت. و ربیعی، م. ۱۳۹۵. اثرات گوگرد، بور، روی و اثر متقابل آنها بر عملکرد کمی و کیفی کلزا به عنوان کشت دوم در مزرعه شالی. مجله تولید گیاهان زراعی. ۳۸(۲): ۵۰-۳۵.

موحدی دهنوی، م.، نیکنام، ن.، بهزادی، ب.، محتشمی، ر. و باقری، ر. ۱۳۹۶. مقایسهٔ پاسخ‌های فیزیولوژیک کتان به تنش خشکی و شوری و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک. زیست‌شناسی گیاهی ایران. ۹(۳۳): ۶۲-۳۹.

میثاق، م.، موحدی دهنوی، م.، یدوی، ع. و خادم حمزه. ح.ر. ۱۳۹۴. اثر محلولپاشی روی و بور بر برخی صفات فیزیولوژیک کنجد تحت شرایط تنش خشکی. سیزدهمین کنگره علوم زراعی و سومین کنفرانس علوم و تکنولوژی بذر.

نصری، م. و خلعتبری، م. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر غلظت محلول پاشی ریز مغذی بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام کلزا در منطقه ورامین. فصلنامه دانش کشاورزی ایران. ۵(۲): ۴۹-۳۵.

Antoli, M. C., Muro, I. and Sanchez-Diaz, M. 2010. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. Environmental and Experimental Botany. 68: 75-82.

Baybordi, A. and Mamedov, G. 2010. Evaluation of

2020. ZnO affects soybean grain yield, oil quantity, quality, and leaf antioxidant activity in drought stress conditions. Journal of Plant Process and Function. 8(34): 61-70.

Latif, S. and Anwar, F. 2008. Quality assessment of moringa concanensis seed oil extracted through solvent and aqueous enzymatic techniques. Grasas Aceites. 59: 67–73.

Ozkan, A. and Kulak, M. 2013. Effects of water stress on growth, oil yield, fatty acid composition and mineral content of Sesamum indicum L. Journal of Animal and Plant Sciences 23(6): 686-1690.

Pasebaneslam, B., Shakiba, M.R., Neyshabouri, M.R. and Ahmadi, M.R. 2000. Evaluation of physiological indices as a screening technique for drought resistant in oilseed rape. Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences. 37:143-152.

Sawan, Z.M. 2018. Mineral fertilizers and plant growth retardants: Its effects on cottonseed yield; its quality and contents. Cogent Biology. 4(1): 325-338.

Sawan, Z.M., Hafez, S.A., Basyony, A.E. and Alkassas, A.E.R. 2006. Cottonseed, protein, oil yields and oil properties as affected by nitrogen fertilization and foliar application of potassium and a plant growth retardant. Agricultural Science. 2(1): 56-65.

Shahbazi K. and Basharati H. 2013. Overview of Agricultural Soil Fertility Status of Iran. Journal of Land Management. 1(1): 1-15.

Tie, C., Hu, T., Jia, Z.X. and Zhang, J.L. 2015. Automatic identification approach for High-Performance Liquid Chromatography-Multiple Reaction Monitoring fatty acid global profiling. Analytical Chemistry. (16): 8181–85.

Youssefi, A., Nshanian, A. and Azizi, M. 2011. Evaluation of influences of drought stress in terminal growth duration on yield and yield components of different spring Brassica oilseed species. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 11: 406-420.

application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notu. Science and Biology. 2(1): 94-103.

Der, H.N., Vaghasia, P.M. and Verma, H.P. 2015. Effect of foliar application of potash and micronutrients on growth and yield attributes of groundnut. Journal of Agricutural Research. 36(3): 275-278.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analal Chemistry. 28(3): 350–356.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc. Agronomic or genetic biofortification. Plant and Soil. 302: 1-17.

Cakmak, I. 2009. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 10: 10-16.

Ensiye, A. and Khorshid, R. 2010. Effect of irrigation regimes on oil content and composition of safflower (Carthamus *tinctorius* L.) cultivars. Journal of American Oil and Chemical Society. 3: 1527-1538.

Flakelar, C.L., Luckett, D.J., Howitt, J.A., Dorana, G. and Prenzler, P.D. 2015. Canola (Brassica napus) oil from Australian cultivars shows promising levels of tocopherols and carotenoids, along with good oxidative stability. Journal of Food Composition and Analysis. 42: 179–186.

Gao, J., Hao, X., Thelen, K.D. and Robertson, G.P. 2009. Agronomic management system and precipitation effects on soybean oil and fatty acid profiles. Crop Science. 49: 1049-1057.

Gonzalez, L. and M. Gonzalez-Vilar. 2003. Determination of Relative Water Content. In: Handbook of Plant Ecophysiology Techniques (Eds. Manuel, J., and R. Goger). Pp. 207-212, Kluwer Academic Publishers, London.

Joorabi, S., Eisvand, H.R. Ismaili, A. and Nasrolahi, A.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.2, Vol. 17, Jun.-Jul. 2023, p. 247-259

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۲، جلد ۱۷، خرداد - تیر ۱۴۰۲، ص. ۲۵۹-۲۴۷

Evaluation of physiological responses of rapeseed varieties to foliar spraying of Zn and Fe micronutrients under different moisture regimes

H. R. Zakerin*[1], S. Sayfzadeh[2], S. A. Valadabady[3]
Recived: Dec.04, 2022 Accepted: Jan.01, 2023

Abstract

Rapeseed (*Brassica napus* L.) containes 40 – 46 percent oil and rich in unsaturated fatty acids such as oleic and linoleic and has a high nutritional value. The abiotic stresses such as drought stress causes to decline the quantitative and qualitative yield of many field crops in developing countries. In order to evaluate the foliar application effects of Zn and Fe micronutrients on growth and yiels of rapeseed under deficite irrigation condition, this experiment was carried out as factorial based on complete block design with three replications in two regions of Qazvin and Karaj, Iran 2019 cropping season. Three levels of irrigation regims including whole irrigation, cutoff irrigation from flowering stage and cutoff irrigation from silique stage and four levels of micronutrients including zero (as check), foliar application of Zn, Fe and Zn + Fe as 3×4 factorial as main plot and two varieties of rapeseed as sub plot comprised experimental treatments. Results showed that seed yield, relative water content and some fatty acids such as linoleic, palmitic and stearic deccreased in response to drought stress caused by cutoff irrigation from flowering stage and micronutrients deficiency and foliar spraying of Zn + Fe enhanced them equal 136.13, 8.20, 7.72, 12.87 and 22.55 percent, respectively. Some evaluated traits such as stomatal resistance, prolin, soluble carbohydrates and oleic, linolenic and erucic fatty acids increased under cutoff irrigation condition from flowerin stage compared to whole irrigation. Result showed that integrated application of Zn and Fe as foliar spraying through increasing of stomatal resistance and increasing of stomatal conductivity and relative water content caused to enhance seed yield of rapeseed under drought stress condition.

Keywords: Drought stress, fatty acids, proline, stomatal resistance, seed yield

1 - Assistant Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran (*Corresponding Author Email: drzakerin5@ gmail.com)
2 - Associate Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran
3 - Associate Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran