اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی بر فعالیت‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا تحت تنش کم آبی

یونس میر[۱]، ماشاالله دانشور[۲*] و احمد اسماعیلی[۳]

۱) دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲) استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳) استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

[*]**نویسنده مسئول: daneshvar.m@lu.ac.ir**

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی بر فعالیت‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا گردید. آبیاری در دو سطح ۲۰ و ۷۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی در کرت‌های اصلی و ترکیب عناصر ریزمغذی (B1 عدم مصرف و B2 محلول‌پاشی با نسبت ۲ در هزار) و عامل اسید سالیسیلیک (غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) در کرت‌های فرعی مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برهم‌کنش سه‌گانه بر صفات شاخص سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و عملکرد دانه معنی‌دار شد. بیش‌ترین عملکرد دانه به میزان ۴۴۲۴ کیلوگرم در هکتار در شرایط عدم تنش و محلول‌پاشی کود ریزمغذی به‌همراه غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. تنش کم‌آبی، شاخص سطح برگ و تبادلات گازی گیاه را تحت تأثیر قرار داده و با کاهش صفات فیزیولوژیک نظیر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، سرعت تعرق و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه نهایتاً باعث کاهش عملکرد دانه در کلزا گردید؛ اما محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی توانست ضمن کاهش معنی‌دار غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه، باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ، هدایت مزوفیلی، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و سرعت فتوسنتز تا حدی اثرات منفی تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک گیاه کلزا را کاهش و عملکرد دانه را ۳۷/۷۹ درصد افزایش دهد. لذا کود ریزمغذی فرتی میکس سه‌گانه (آهن+روی+منگنز) با غلظت ۲ در هزار به‌همراه غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک جهت کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی و حصول عملکرد مناسب توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تعرق، تنش کم‌آبی، فتوسنتز، کلزا و هدایت روزنه‌ای.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

مقدمه

کلزا[1] پس از سویا به‌عنوان دومین گیاه روغنی در جهان مطرح است که جهت تولید روغن خوراکی کشت می‌گردد (FAO, 2016). در بررسی اثر تنش قطع آبیاری بر عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی کلزا گزارش شده که توقف آبیاری در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه کلزا موجب کاهش ۳۵ و ۱۸ درصد عملکرد دانه می‌شود (Godarzi *et al*., 2017). کاهش رشد تحت شرایط تنش، نتیجه جلوگیری از تقسیم سلول، رشد سلولی و یا هر دوی آن‌هاست که این اثرات بازدارندگی می‌تواند در اثر تغییر در توازن هورمون‌های گیاهی در اثر تنش باشد. تنظیم‌کننده‌های رشدی چون سالیسیلیک اسید با ایجاد توازن در غلظت هورمون‌های گیاهی در کنترل پاسخ‌های گیاه به شرایط نامساعد نقش مهمی دارد (Pirasteh-Anosheh *et al*., 2015). کشاورز و مدرس ثانوی گزارش کردند که تیمار اسید سالیسیلیک منجر به افزایش وزن صد دانه و عملکرد دانه نسبت به عدم مصرف دو رقم کلزا شد (کشاورز و مدرس ثانوی، ۱۳۹۳). بررسی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر کلزا نشان داد که استفاده از محلول‌پاشی کود روی و آهن، اثر بهینه‌ای بر صفات کلزا داشت (Sienkiewicz-Cholewa and Kieloch, 2015). فتوسنتز گیاهان، تحت تأثیر شرایط محیطی نظیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. توانایی زنده ماندن گیاه و ادامه رشد و نمو و فتوسنتز در تنش‌های محیطی به پتانسیل ژنتیکی گیاه وابسته است که به‌صورت پاسخ‌های فیزیولوژیک و مولکولی بروز می‌کند. برخی مواد تنظیم‌کننده رشد خارج از گیاه می‌توانند گیاه را از طریق فتوسنتز بیشتر برای تحمل به تنش تواناتر سازند (Geoffrey, 2011). بسته شدن روزنه، کاهش ورود دی‌اکسید کربن به درون برگ و کاهش فتوسنتز خالص را در پی خواهد داشت (عندلیبی، ۱۳۸۸). تنظیم تعرق برگ از طریق بسته شدن روزنه‌ها ممکن است به‌عنوان سازوکار مقاومت به خشکی عمل نماید، اما اجتناب از تنش که بدین‌ترتیب حاصل می‌شود ممکن است سبب توقف فتوسنتز شود و نامطلوب باشد، عدم کارایی دستگاه فتوسنتزی و آسیب دیدن آن در اثر کمبود آب به مصرف نشدن دی‌اکسیدکربن و افزایش غلظت آن منجر می‌شود (Ashraf and Harris, 2013). تعرق روزنه‌ای بالا احتمالاً منجر به اسیمیلاسیون بیشتر دی‌اکسیدکربن و درنهایت بیوماس و تولید بیش‌تر می‌شود (Zaharieva *et al*., 2001). با افزایش شدت تنش، هدایت مزوفیلی بیش از هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد، لذا با وجود کاهش هدایت روزنه‌ای و محدود شدن ورود دی‌اکسیدکربن به داخل روزنه‌ها به علت افت کارایی کربوکسیلاسیون و کاهش مصرف دی‌اکسیدکربن، غلظت آن در زیر اتاقک روزنه‌ای افزایش می‌یابد (Yamori *et al*., 2013). جمشیدی زیناب و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر تنش خشکی بر تعدادی از ارقام کلزا گزارش کردند که رقمی که در شرایط تنش، هدایت روزنه‌ای بالاتری داشت، از عملکرد بالاتری نیز برخوردار بود. کاربرد سالیسیلیک اسید اثر منفی تنش خشکی روی وضعیت

1- *Brassica napus* L.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

آبی، هدایت روزنه‌ای و فعالیت‌های فیزیولوژی سویا را کاهش می‌دهد (Hayat *et al*., 2010). با توجه به‌اینکه کشور ما جز مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و با مشکل محدودیت منابع آبی روبه‌رو است و باتوجه به اینکه اطلاعات در خصوص اثرات تنش‌های محیطی نظیر کم آبی بر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارایی مصرف آب و عملکرد کلزا در کشور نسبتاً محدود است. لذا اتخاذ تکنیک‌های مناسب باهدف افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش‌زا، به‌نظر ضروری می‌رسد. به‌همین دلیل این آزمایش با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و سالیسیلیک اسید بر فعالیت‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا رقم نپتون در شرایط تنش کم آبی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در شهرستان خرم‌آباد با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالیانه ۵۲۰/۶ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد (هر دو بر اساس آمار بلند مدت ۵۴ ساله از سال ۱۳۸۵-۱۳۳۱) و اقلیم نیمه‌خشک (بر اساس ضرایب دمارتن آمبرژه) انجام شد. مشخصات هواشناسی منطقه در دوره اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱: شرایط آب و هوایی محل آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵

ماه	بارندگی (میلی‌متر)	حداقل دمای مطلق (سانتی‌گراد)	حداکثر دمای مطلق (سانتی‌گراد)	متوسط دما (سانتی‌گراد)
مهر	۰	۹/۷	۳۳/۴	۱۹/۸
آبان	۸/۶	۷/۲	۲۷/۸	۱۵/۵
آذر	۶۶/۲	۱/۱	۱۸/۶	۷/۳
دی	۸۲/۶	۱	۱۷/۵	۶/۹
بهمن	۱۰۱	-۱/۹	۱۵/۴	۴/۲
اسفند	۴۴/۳	۱/۹	۲۲/۸	۹/۴
فروردین	۸۰/۸	۷/۴	۳۰/۲	۱۴/۰
اردیبهشت	۳۲/۸	۱۱/۱	۳۴/۲	۲۰/۱
خرداد	۰	۱۳/۴	۳۹/۲	۲۴/۵

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. آبیاری در دو سطح (A1 ۲۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی و A2 ۷۰ درصد تخلیه ظرفیت زراعی) در کرت‌های اصلی، ترکیب عناصر ریزمغذی در دو سطح (B1 عدم مصرف و B2 محلول‌پاشی با نسبت ۲ در هزار) و عامل اسید سالیسیلیک در چهار سطح (C1 غلظت صفر، C2 ۰/۵، C3 ۱ و C4 ۱/۵ میلی‌مولار) در کرت‌های فرعی مورد مقایسه قرار گرفت. قبل از کاشت به‌طور

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

تصادفی در چندین نقطه مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه، نمونه مرکب تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید. از اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌گیری دیگری به‌عمل آمد و رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم خاک تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۲: نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل آزمایش

عمق نمونه (سانتی‌متر)	بافت خاک	رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه	وزن مخصوص ظاهری	درصد کربن آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس	اسیدیته	هدایت الکتریکی
					(میلی‌گرم بر کیلوگرم)							(میکروموس بر سانتی‌متر)
۰-۳۰	لوم رس	۲۳/۷۰	۱/۴۷	۰/۶۷	۷/۵	۲۵۸	۵	۳/۸	۰/۴۴	۰/۸۵	۷/۷	۰/۶۴

کل آزمایش ۴۸ کرت داشت، ابعاد هر کرت ۱۰ مترمربع به‌صورت ۵ در ۲ متر و شامل ۴ ردیف کشت بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف کشت ۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کشت و هم‌چنین فاصله بین کرت‌های مجاور ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌های اصلی و هم‌چنین فاصله بین بلوک‌ها ۵ متر بود و عملیات کاشت با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع، پس از آماده‌سازی بستر بذر و اضافه کردن کودهای پایه (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بر اساس نتایج آزمون خاک، در پاییز و در تاریخ ۹۵/۰۷/۱۲ به‌صورت دستی انجام گرفت. برای تراکم مناسب در هر کرت، در مرحله ۴ تا ۶ برگی اقدام به تنک گیاهان با تراکم ۴۰ بوته گردید. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم نپتون بود و این رقم در کشورهای فرانسه و مجارستان ثبت شده است و دارای ویژگی‌های پتانسیل عملکرد بالا، زمستانه و دو صفر (میزان اسید اروسیک و گلوکوزینولات 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 (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴). در طی فصل رشد کلیه مراقبت‌های لازم انجام گرفت. تیمارهای آزمایش بر اساس مراحل توسعه فنولوژیک کلزا و با استفاده از سیستم جدید کدبندی BBCH[1] اعمال گردید. محلول‌پاشی کود ریزمغذی آهن، روی و منگنز (از منبع کود مایع فرتی‌میکس سه‌گانه) در مرحله روزت (BBCH29) و محلول‌پاشی هورمون اسید سالیسیلیک در دو مرحله آغاز گل‌دهی (BBCH60) و پر شدن خورجین (BBCH72) انجام گرفت (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۳: میزان عناصر موجود در کود ریزمغذی فرتی میکس سه‌گانه (Ferti mix Trio)

عناصر	آهن (درصد وزنی)	روی (درصد وزنی)	منگنز (درصد وزنی)
غلظت عنصر	۵	۲	۲

1- Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt and Chemical industry

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

جدول ۴: حد بحرانی عناصر غذایی در خاک‌های زیر کشت کلزا (خادمی و همکاران، ۱۳۷۹)

عناصر	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					
غلظت عنصر	۱۵	۲۰۰	۵	۵	۱	۰/۸

اعمال تنش هم‌زمان با مرحله خارج شدن گیاه از روزت و آغاز رشد مجدد (BBCH32)، با اندازه‌گیری رطوبت خاک قبل از آبیاری به روشی که در ذیل آمده است، انجام گرفت. جهت تعیین زمان آبیاری در فاصله بین دو آبیاری و باگذشت ۴۸ ساعت از زمان آبیاری، روزانه از هر کرت اصلی، یک کرت فرعی به‌طور تصادفی انتخاب و توسط مته نمونه‌هایی از خاک مزرعه در منطقه مؤثر ریشه (با زدن پروفیل خاک) که تابعی از مرحله رشد گیاه است تهیه و به‌منظور تعیین رطوبت خاک به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از رسیدن درصد رطوبت وزنی خاک به میزان تعیین شده جهت انجام آبیاری کامل، به‌وسیله رابطه ۱، حجم آبیاری محاسبه گردید (علیزاده، ۱۳۸۱).

رابطه ۱:

$$VW = \frac{(FC - Q) \times BD \times D \times A}{Ea}$$

در این رابطه VW حجم آبیاری برحسب مترمکعب، FC درصد وزنی رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، Q درصد وزنی رطوبت خاک هنگام نمونه‌برداری برای آبیاری، BD وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، D عمق مؤثر توسعه ریشه گیاه برحسب متر، A مساحت کرت برحسب مترمربع، Ea کارآیی آبیاری در مزرعه می‌باشد. بدین ترتیب حجم آب مورد نیاز در هر مرتبه آبیاری در هر مرحله محاسبه و براساس راندمان آبیاری ۹۰ درصد با استفاده از کنتور به‌صورت یکنواخت توزیع گردید.

برای اندازه‌گیری خصوصیات فتوسنتزی در پایان مرحله گل‌دهی (BBCH69)، از هر کرت تعداد پنج بوته انتخاب و تبادلات گازی سه برگ بالایی آن‌ها با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون قرمز مدل LCA4، (شرکت ADC Bioscientific، انگلستان) در ساعت ۱۱-۱۲ پیش از ظهر و شدت نور ۱۲۰۰-۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه و دمای ۲±۲۴ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (Shah, 2011). شاخص سطح برگ از تقسیم نسبت سطح برگ به سطح زمین به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از یک کوادرات ۰/۲۵ مترمربعی استفاده کرده و تمام نمونه‌های داخل آن برداشت‌شده و به‌وسیله دستگاه سطح برگ‌سنج[1] Hayashi Denkoh مدل AAM-7 میزان سطح برگ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در مرحله رسیدگی کامل دانه‌ها با حذف دو خط کناری هر کرت و یک متر از طرفین هر خط

1- Leaf Area Meter

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

کاشت، برداشت از مساحت ۳/۶۰ مترمربع انجام شد و نمونه‌ها به‌طور کامل در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک سپس جهت تعین عملکرد دانه، نمونه‌ها خرمن‌کوبی و مورد عمل بوجاری قرارگرفته و توزین شدند. برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای عناصر ریزمغذی و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و اثر تیمار تنش کم آبی و برهم‌کنش سه‌گانه تنش کم‌آبی در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر صفت شاخص سطح برگ معنی‌دار گردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید نشان داد که تنش کم آبی باعث کاهش ۱۹ درصدی شاخص سطح برگ گردید، اما محلول‌پاشی کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید توانست شاخص سطح برگ را در شرایط عدم تنش ۳۱ و در شرایط تنش حدود ۳۳ درصد افزایش دهد. بیش‌ترین شاخص سطح برگ با میانگین ۴/۶۴ متعلق به تیمار A1B2C3 (عدم تنش+ محلول‌پاشی کود ریزمغذی+ غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) و کم‌ترین شاخص سطح برگ با میانگین ۲/۵۸ متعلق به تیمار A2B1C1 (تنش کم‌آبی+ عدم محلول‌پاشی کود ریزمغذی+ عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک) بود، هرچند که بین تیمار A2B1C1 با A2B1C2، A2B1C3، A2B1C4 و A2B2C1 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). افزایش شاخص سطح برگ، تحت تأثیر عناصر ریزمغذی در هر دو شرایط تنش و شاهد به‌خوبی بیانگر اثر مثبت این عناصر بر شاخص سطح برگ است. توسعه سطح برگی از طریق بهبود تعداد، اندازه و سطح برگ‌ها به کمک مواد تغذیه‌ای فراهم و این امر باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. گزارش شده که عناصر ریزمغذی به دلیل جذب بهتر بعضی عناصر مانند نیتروژن، باعث افزایش فعالیت‌های حیاتی گیاه، افزایش جذب نیتروژن و درنهایت افزایش شاخص سطح برگ گیاه می‌شود (میرطالبی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج تحقیقی نشان داد که قطع آبیاری باعث کاهش شاخص سطح برگ در کلزا گردید، بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ از تیمار محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با غلظت شش در هزار بود و کم‌ترین مقدار شاخص سطح برگ متعلق به تیمار عدم محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی اختصاص داشت (پاینده و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج حاصل از تحقیق بالجانی و شکاری (۱۳۹۱) نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش شاخص سطح برگ در گیاه گلرنگ شد، اما پیش تیمار بذرها با سالیسیلیک اسید باعث افزایش میزان شاخص سطح برگ در هر دو شرایط تنش و غیر تنش شد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش کم‌آبی، کود ریزمغذی و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دوگانه کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش سه‌گانه تنش کم‌آبی در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه نشان داد که تنش کم‌آبی عملکرد دانه را ۴۱/۷۹ درصد کاهش داد. کاربرد هم‌زمان کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید توانست عملکرد دانه را در شرایط عدم تنش ۱۲۸۱/۴ و در شرایط تنش ۱۰۶۴/۹ کیلوگرم در هکتار افزایش دهد. بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۴۴۲۴/۷ کیلوگرم متعلق به تیمار A1B2C4 (عدم تنش+ محلول‌پاشی کود ریزمغذی+ غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار اسید سالیسیلیک) و کم‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۱۸۲۹/۸ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار A2B1C1 (تنش کم‌آبی+ عدم محلول‌پاشی کود ریزمغذی+ عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک) بود، هرچند که با A2B1C2 اختلاف معنی‌دار نداشت و هر دو در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۶). داوری با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد کلزا نشان داد کم‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۱۸۷۶ کیلوگرم در هکتار از قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی حاصل شد (Davari, 2017). گزارش‌شده با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه کاهش یافت اما استفاده از اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی عملکرد دانه را افزایش داد (قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸). هم‌چنین کشاورز و مدرس ثانوی (۱۳۹۳) گزارش دادند که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید از طریق تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیک کلزا باعث افزایش ۱۳ درصدی عملکرد دانه شد. پاینده و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که با افزایش در سطوح محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی، عملکرد دانه افزایش یافت که همگی این نتایج با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. عملکرد دانه با شاخص سطح برگ، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد و با میزان دی‌اکسیدکرین زیر اتاقک روزنه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. به‌طورکلی محلول‌پاشی کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید توانست ضمن افزایش مقاومت به شرایط تنش کم‌آبی، از طریق بهبود ویژگی‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه ازجمله شاخص سطح برگ و مؤلفه‌های فتوسنتزی شرایط مساعدی را برای رشد مطلوب‌تر گیاه، فراهم نموده و نهایتاً عملکرد دانه را در شرایط عدم تنش ۲۹ و در شرایط تنش ۳۶ درصد افزایش دهد (جدول ۷).

سرعت فتوسنتز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی، اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دوگانه تنش کم‌آبی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال ۵ درصد بر صفت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

سرعت فتوسنتز معنی‌دار گردید اما برهم‌کنش سه‌گانه معنی‌دار نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید نشان داد که با محلول‌پاشی کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید سرعت فتوسنتز افزایش یافت، بیش‌ترین سرعت فتوسنتز با میانگین ۱۰/۳۲ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه در شرایط عدم تنش و مصرف کودهای ریزمغذی به‌همراه سطوح یک‌ونیم میلی‌مولار (A1B2C4) به‌دست آمد هرچند که بین تیمارهای A1B2C4 و A1B2C3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. هم‌چنین کم‌ترین سرعت فتوسنتز در شرایط تنش کم‌آبی و عدم مصرف کود ریزمغذی و در سطوح صفر و نیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (تیمارA2B1C1، A2B1C3) به‌دست آمد (جدول ۶). منجم و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار سرعت فتوسنتز کلزا شد. آهن، عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. عدم دسترسی به آهن موجب زرد شدن برگ‌های جوان می‌شود و باعث کاهش چشم‌گیر فعالیت فتوسنتز و درنتیجه تولید بیوماس می‌شود (Briat, 2007). مصرف عنصر روی میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش می‌دهد و سبب توسعه پوشش گیاهی و افزایش عملکرد گیاه می‌شود (پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۲). منگنز به‌طور مستقیم از طریق افزایش ترکیبات و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن نقش مهمی در کاهش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش‌های محیطی در گیاهان دارد (Waraich *et al*., 2012). در تحقیق حاضر کاربرد عناصر ریزمغذی میزان فتوسنتز در هر دو شرایط تنش و عدم تنش افزایش معنی‌داری داشت. گزارش‌هایی وجود دارد که بیان می‌دارد کاربرد سالیسیلیک اسید بر گیاهان موجب افزایش فتوسنتز و صفات وابسته تحت شرایط نرمال و تنش گردیده است. اسید سالیسیلیک از طریق جلوگیری از تخریب کلروپلاست و افزایش ظرفیت انتقال الکترون توسط فتوسیستم II می‌تواند باعث افزایش فتوسنتز شود (Shakirova *et al*., 2003). نتایج همبستگی صفات نشان داد که صفت سرعت فتوسنتز با شاخص سطح برگ، تعرق، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت غلظت دی اکسید کربن زیر اتاقک روزنه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۷).

سرعت تعرق

سرعت تعرق نشانگر گشودگی بیشتر روزنه‌ها و به‌تبع آن بیانگر جذب بهتر آب از خاک است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی، اسید سالیسیلیک و برهم‌کنش دوگانه تنش کم آبی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش سه‌گانه تنش کم‌آبی در سالیسیلیک اسید در عناصر ریزمغذی در سطح احتمال ۵ درصد بر سرعت تعرق معنی‌دار گردید (جدول ۵). همچنین مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید نشان داد که تنش کم‌آبی موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ۳۵

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

درصدی سرعت تعرق در شرایط تنش گردیده است. کم‌ترین سرعت تعرق با میانگین ۱/۱۴ در شرایط تنش و عدم محلول‌پاشی کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید (A2B1C1) به‌دست آمد و بیش‌ترین سرعت تعرق با میانگین ۳/۲۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه در شرایط عدم تنش و مصرف کودهای ریزمغذی به‌همراه سطوح یک میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (A1B2C3) به‌دست آمد (جدول ۶). عنصر ریزمغذی روی موجب حفظ پتاسیم مورد نیاز سلول‌های نگهبان روزنه و درنتیجه باز شدن روزنه‌ها می‌گردد (Fateh *et al*., 2012). اسید سالیسیلیک باعث افزایش راندمان مصرف آب و میزان تعرق در برگ‌های سویا شد (Khan and Smith, 2003). در گیاهان زراعی تعرق بارزترین شکل تلفات آب است. گیاه در شرایط تنش کم آبی روزنه‌ها را بسته تا از هدر رفت آب جلوگیری کند، درنتیجه طبیعی به‌نظر می‌رسد که میزان تعرق در شرایط تنش کم آبی، پایین‌تر از شرایط مطلوب باشد. به‌عبارت‌دیگر کاهش میزان تعرق در تیمار تحت تنش احتمالاً به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای است. استفاده از کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید توانست ضمن برطرف کردن شرایط منفی تنش تا حدودی سرعت تعرق را در شرایط عدم تنش ۳۵ و در شرایط تنش کم‌آبی حدود ۴۱ درصد افزایش دهد. منجم و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار سرعت تعرق می‌شود که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. گزارش‌شده که برای عملکرد مطلوب، گیاه باید روزنه‌ها را در طی تنش باز نگه دارد، به‌گونه‌ای که آب و مواد غذایی را بهتر از خاک دریافت کند (Refay, 2011). نتایج همبستگی صفات جدول ۷ نشان داد که صفت تعرق با صفات هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. در تحقیق حاضر تنش کم‌آبی موجب کاهش سرعت تعرق و فتوسنتز گردید، اما استفاده از کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید توانست ضمن برطرف کردن شرایط منفی تنش تا حدودی سرعت تعرق را افزایش دهد که به‌دنبال آن افزایش در سرعت ورود دی‌اکسید کربن، فتوسنتز و نهایتاً افزایش عملکرد دانه را به‌دنبال داشت.

مقدار دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه

اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی، اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دوگانه تنش کم آبی در کود ریزمغذی و کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال پنج درصد بر صفت مقدار دی‌اکسید کربن زیر اتاقک روزنه معنی‌دار گردید ولی برهم‌کنش سه‌گانه معنی‌دار نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید نشان داد که بیش‌ترین مقدار دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه با میانگین ۳۲۶/۴۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه در شرایط تنش و عدم کاربرد کودهای ریزمغذی و سالیسیلیک اسید (A2B1C1) به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه با میانگین ۱۳۵/۸۹ در شرایط عدم تنش

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1400.13.50.7.4]

به‌همراه محلول‌پاشی کود ریزمغذی و غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (A1B2C4) به دست آمد، هرچند که بین تیمار A1B2C4 با A1B2C3 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). غلظت دی‌اکسیدکربن زیر روزنه‌ای بالا بیانگر این مطلب است که در شرایط تنش، دی‌اکسیدکربن وارد شده به برگ به‌خوبی در فرایند فتوسنتز مورد استفاده قرار نگرفته است (Anyia and Herzog, 2004). در تیمارهای تحت تنش کم آبی، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه را می‌توان به کاهش شدید هدایت مزوفیلی و درنتیجه کاهش ظرفیت فتوسنتزی در کلروپلاست نسبت داد (Koc *et al.*, 2003). در تحقیق حاضر استفاده از کود ریزمغذی باعث کاهش میزان دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه شد که با نتایج محلوجی و همکاران (۱۳۹۳) که اعلام کردند که استفاده از کود روی باعث کاهش میزان دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه در گیاه جو گردید هم‌خوانی دارد و احتمالاً دلیل آن‌را می‌توان به نقش مهم عناصر ریزمغذی در فعال کردن آنزیم‌های فتوسنتزی مرتبط دانست. هم‌چنین در تحقیق حاضر مصرف هورمون سالیسیلیک اسید موجب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن گردید که این نتایج با نتایج شکاری و همکاران (۱۳۸۹) که گزارش کردند استفاده از هورمون اسیدسالیسیلیک، غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه‌ای در گیاه لوبیا را کاهش داد هم‌خوانی دارد و دلیل آن را می‌توان به نقش حفاظتی سالیسیلیک اسید بر آنزیم‌های فتوسنتزی نسبت داد.

هدایت روزنه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی، اسید سالیسیلیک، برهم‌کنش دوگانه تنش کم آبی در سالیسیلیک اسید، کود ریزمغذی در اسید سالیسیلیک و برهم‌کنش سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد بر صفت هدایت روزنه‌ای معنی‌دار گردید (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید نشان داد که تنش کم آبی موجب کاهش ۴۶ درصدی هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش گردیده است. بیش‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای با میانگین ۰/۲۱ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه در شرایط عدم تنش و کاربرد کودهای ریزمغذی و غلظت یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (A1B2C3) به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای با میانگین ۰/۰۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه در شرایط تنش و عدم محلول‌پاشی کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید (A2B1C1) به‌دست آمد (جدول ۶). جلوگیری از رشد همراه با بسته شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به خشکی است (Klamkowski and Treder, 2006). در تحقیق حاضر کاربرد هم‌زمان کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید توانست میزان هدایت روزنه‌ای را در شرایط عدم تنش ۳۸ و در شرایط تنش ۵۳ درصد افزایش دهد. نتایج تحقیق رزمی و همکاران (۱۳۹۸) که نشان داد تنش خشکی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاه سویا شد و بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای در شرایط نرمال رطوبتی و کاربرد سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. گزارش شده

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان هدایت روزنه‌ای در برگ ذرت و سویا شد (Khan and Smith, 2003). محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی روی بر نرخ هدایت روزنه‌ای معنی‌دار بود و بیش‌ترین نرخ هدایت روزنه‌ای با محلول‌پاشی ۱/۵ گرم در لیتر سولفات روی حاصل شد (مقیمی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) که همگی این نتایج همسو با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. مطابق جدول همبستگی هدایت روزنه‌ای با سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز و عملکرد دانه همبستگی مثبت بالایی داشت (جدول ۷)، به‌نظر می‌رسد کاربرد عناصر ریزمغذی و سالیسیلیک اسید از طریق باز شدن یا باز ماندن روزنه‌ها و افزایش تعرق، باعث هدایت روزنه‌ای بالاتر و افزایش در میزان فتوسنتز و نهایتاً عملکرد دانه گردیده است.

هدایت مزوفیلی

مجموعه مکانیسم‌های درونی برگ که به فرآوری دی‌اکسیدکربن می‌انجامد، هدایت مزوفیلی نامیده می‌شوند. هدایت مزوفیلی برابر با نسبت سرعت فتوسنتز به مقدار دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه می‌باشد. اثر تیمارهای اصلی تنش کم آبی، کود ریزمغذی، اسید سالیسیلیک، برهم‌کنش دوگانه تنش کم آبی در کود ریزمغذی، تنش در سالیسیلیک اسید، کود ریزمغذی در اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد بر صفت هدایت مزوفیلی معنی‌دار گردید اما برهم‌کنش سه‌گانه تنش در کود ریزمغذی در سالیسیلیک اسید معنی‌دار نشد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه نشان داد که تنش کم‌آبی هدایت مزوفیلی را حدود ۴۸ درصد کاهش داد، اما مصرف هم‌زمان کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید، میزان هدایت مزوفیلی را در شرایط عدم تنش ۲۴۵ درصد و در شرایط عدم تنش ۲۴۳ درصد افزایش داد. بیش‌ترین مقدار هدایت مزوفیلی با میانگین ۰/۰۷۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه در شرایط عدم تنش و کاربرد کودهای ریزمغذی و سالیسیلیک اسید (A1B2C3) به‌دست آمد هرچند که بین تیمارهای A1B2C3 و A1B2C4 اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و کم‌ترین مقدار هدایت مزوفیلی با میانگین ۰/۰۱۶ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه در شرایط تنش و عدم محلول‌پاشی کود ریزمغذی و سالیسیلیک اسید (A2B1C1) به‌دست آمد که این تیمار نیز با تیمار A2B1C2 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۶). گزارش شده که استفاده از کود روی باعث افزایش هدایت مزوفیلی در گیاه جو گردید (محلوجی و همکاران، ۱۳۹۳) که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. در تحقیق حاضر در شرایط تنش با وجود کاهش هدایت روزنه‌ای و محدود شدن ورود دی‌اکسیدکربن به داخل روزنه‌ها، افزایش در میزان دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه‌ای مشاهده شد که علت آن را می‌توان به افت کارآیی کربوکسیلاسیون و کاهش مصرف دی‌اکسیدکربن نسبت داد. کاربرد سالیسیلیک اسید توانست تا حدودی موانع استفاده از دی‌اکسیدکربن موجود در سلول‌های مزوفیل برگ را کاهش دهد. پژوهش‌گران تولید پایدار را مستلزم تعرق، هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی بالا در شرایط تنش می‌دانند (Omea *et al.*, 2007). نتایج همبستگی صفات نشان داد که صفت هدایت مزوفیلی با صفات هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و سرعت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

تعرق همبستگی مثبت و معنی‌دار و با صفت غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۷).

جدول ۵: نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی آزمایش

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		شاخص سطح برگ	عملکرد دانه	سرعت فتوسنتز	سرعت تعرق	دی اکسید کربن زیر اتاقک روزنه	هدایت روزنه‌ای	هدایت مزوفیلی
تکرار	۲	۰/۰۲ ns	۷۸۶۱/۶۱ ns	۰/۳۲۰ ns	۰/۰۰۳ ns	۱۰۲/۵۱ ns	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۰۰۲ ns
تنش (A)	۱	۹/۶۱ *	۲۱۲۱۹۷۵۱/۵۹ **	۵۶/۳۱۲ **	۱۳/۲۷۲ **	۸۸۱۱۴/۱۷ **	۰/۰۵۲۰۱ **	۰/۰۰۰۷۸ **
خطا A	۲	۰/۱۶ ns	۳۶۳۷۳/۲۱ ns	۰/۳۹۹ ns	۰/۰۱۲ ns	۲۸۹/۳۸ ns	۰/۰۰۰۰۶ ns	۰/۰۰۰۳ ns
کود (B)	۱	۴/۰۳ **	۲۸۱۹۲۵۷/۵۵ **	۱۹/۶۳۲ **	۲/۱۴۲ **	۱۶۵۰۸/۳۹ **	۰/۰۱۴۰۱ **	۰/۰۰۲۲۰ **
اسید سالیسیلیک (C)	۳	۱/۰۵ **	۹۰۵۷۷۵/۸۷ **	۶/۵۲۰ **	۰/۶۵۹ **	۱۲۳۰۹/۳۹ **	۰/۰۰۶۶۵ **	۰/۰۰۱۰۲ **
فاکتور A×B	۱	۰/۰۱ ns	۲۳۵۶/۲۰ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱۴ ns	۸۵۷/۴۲ *	۰/۰۰۰۲۱ ns	۰/۰۰۰۱۷ **
فاکتور A×C	۳	۰/۰۴ ns	۱۷۲۳۷/۰۹ ns	۰/۴۳۰ *	۰/۰۶۴ **	۳۹۲/۰۴ ns	۰/۰۰۰۳۲ **	۰/۰۰۰۱۵ **
فاکتور B×C	۳	۰/۰۶ ns	۸۵۴۶۱/۰۸ *	۰/۰۶۸ ns	۰/۰۲۰ ns	۶۴۰/۲۳ *	۰/۰۰۰۴۸ **	۰/۰۰۰۱۱ **
فاکتور A×B×C	۳	۰/۲۲ *	۶۶۸۲۳/۱۰ *	۰/۰۱۵ ns	۰/۰۲۵ *	۴۳/۶۴ ns	۰/۰۰۰۴۳ **	۰/۰۰۰۰۳ ns
خطا کل	۲۸	۰/۰۶۵	۲۱۵۵۵/۳۵	۰/۱۳۷	۰/۰۰۸	۱۶۷/۶۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۷/۳۰	۴/۹۳	۴/۸۱	۴/۳۷	۵/۸۳	۵/۲۸	۸/۷۷

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

جدول ۶: مقایسه میانگین تنش کم آبی، اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی بر صفات مورد بررسی در کلزا

تیمار	شاخص سطح برگ	عملکرد دانه	سرعت فتوسنتز	مقدار دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه	هدایت روزنه‌ای	هدایت مزوفیلی	سرعت تعرق
		(کیلوگرم در هکتار)	(میلی مول دی‌اکسید کربن در مترمربع در ثانیه)				(میلی مول بخار آب در مترمربع در ثانیه)
A1B1C1	۳/۱۹ de	۳۱۴۳/۲f	۶/۹۶fgh	۲۲۵/۳۲d	۰/۱۳gh	۰/۰۳۱ef	۲/۱۲e
A1B1C2	۳/۵۵cd	۳۴۱۴/۵e	۷/۸۱de	۱۸۷/۴۰fg	۰/۱۴g	۰/۰۴۱c	۲/۲۷e
A1B1C3	۳/۷۴bc	۳۶۷۹/۵cd	۸/۹۴bc	۱۸۱/۳۴fg	۰/۱۹bc	۰/۰۵۰b	۲/۶۰c
A1B1C4	۴/۱۷bc	۳۴۹۷/۵de	۸/۸۷bc	۱۸۰/۴۲fg	۰/۱۷de	۰/۰۴۹b	۲/۵۰cd
A1B2C1	۳/۸۵bc	۳۴۲۹/۹de	۸/۳۰cd	۲۱۳/۴۲de	۰/۱۵f	۰/۰۳۹cd	۲/۴۳d
A1B2C2	۴/۱۸b	۳۷۶۰/۳c	۹/۱۷b	۱۷۰/۶۸g	۰/۱۸cd	۰/۰۵۴b	۲/۶۲c
A1B2C3	۴/۶۴a	۴۰۰۲/۶b	۹/۹۴a	۱۳۹/۹۴h	۰/۲۱a	۰/۰۷۱a	۳/۲۷a
A1B2C4	۴/۲۱b	۴۴۲۴/۷a	۱۰/۳۲a	۱۳۵/۸۹h	۰/۲۰b	۰/۰۷۶a	۳/۰۰b
A2B1C1	۲/۵۸f	۱۸۲۹/۸l	۵/۲۹j	۳۲۶/۴۷a	۰/۰۷k	۰/۰۱۶i	۱/۱۴j
A2B1C2	۲/۶۳f	۱۹۹۰/۴kl	۵/۷۶ij	۲۹۷/۶۷b	۰/۰۸j	۰/۰۱۹i	۱/۳۱i
A2B1C3	۲/۸۳ef	۲۱۶۳/۴kl	۶/۳۰hi	۲۶۳/۵۴c	۰/۱۰i	۰/۰۲۴gh	۱/۵۲h
A2B1C4	۲/۹۵ef	۲۳۷۶/۰ij	۶/۶۰gh	۲۶۳/۳۸c	۰/۰۹j	۰/۰۲۵gh	۱/۴۵hi
A2B2C1	۲/۸۷ef	۲۲۱۷/۱jk	۶/۵۳h	۲۹۳/۹۶b	۰/۰۸j	۰/۰۲۲gh	۱/۵۰h
A2B2C2	۳/۲۶de	۲۵۹۷/۶hi	۷/۲۱efg	۲۸۵/۴۵c	۰/۱۲h	۰/۰۲۸fg	۱/۷۱g
A2B2C3	۳/۴۵cd	۲۶۴۵/۰h	۷/۴۳ef	۲۱۶/۴۶de	۰/۱۴g	۰/۰۳۴de	۱/۸۵fg
A2B2C4	۳/۸۲bc	۲۸۹۴/۷g	۷/۸۷de	۲۰۰/۰۰ef	۰/۱۵f	۰/۰۳۹cd	۱/۹۲f

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

جدول ۷: ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی آزمایش

صفات	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
شاخص سطح برگ (X1)	۱						
عملکرد دانه (X1)	۰/۹۲**	۱					
سرعت فتوسنتز (X1)	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۱				
سرعت تعرق (X1)	۰/۹۴**	۰/۹۸**	۰/۹۷**	۱			
میزان دی اکسید کربن زیر اتاقک روزنه (X1)	-۰/۹۴**	-۰/۹۶**	-۰/۹۶**	-۰/۹۵**	۱		
هدایت روزنه‌ای (X1)	۰/۹۵**	۰/۹۴**	۰/۹۷**	۰/۹۶**	-۰/۹۷**	۱	
هدایت مزوفیلی (X1)	۰/۹۰**	۰/۹۳**	۰/۹۶**	۰/۹۳**	-۰/۹۱**	۰/۹۱**	۱

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

نتیجه‌گیری

تنش خشکی، شاخص سطح برگ و تبادلات گازی گیاه را تحت تأثیر قرار داده و با کاهش صفات فیزیولوژیک نظیر سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه نهایتاً باعث کاهش عملکرد دانه در کلزا گردید، اما محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و عناصر ریزمغذی توانست با کاهش معنی‌دار غلظت دی‌اکسیدکربن زیر اتاقک روزنه و افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ، هدایت مزوفیلی، هدایت روزنه‌ای، تعرق فتوسنتز و تا حدی اثرات منفی تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک گیاه کلزا را کاهش و عملکرد دانه را در شرایط عدم تنش ۲۹ و در شرایط تنش ۳۶ درصد افزایش دهد. باتوجه به پایین بودن نسبی قیمت هورمون اسید سالیسیلیک و کودهای ریزمغذی و تأثیر بسیار مثبت آن‌ها در افزایش عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش کم‌آبی و عدم تنش، استفاده از کود ریزمغذی فرتی‌میکس سه‌گانه (آهن+روی+منگنز) با غلظت ۲ در هزار به‌همراه غلظت یک‌ونیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید جهت کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی و حصول عملکرد مناسب توصیه می‌گردد.

منابع

بالجانی، ر.، و شکاری، ف. ۱۳۹۱. تأثیر پیش تیمار با سالیسیلیک اسید بر روابط شاخص‌های رشد و عملکرد در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۱(۲۲): ۱-۱۷.

پاینده، خ.، مجدم، م.، و درودگر، ن. ۱۳۹۷. کاربرد عناصر ریزمغذی بر عملکرد کمی و کیفی کلزا در شرایط تنش خشکی. نشریه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰(۳۸): ۳۷-۲۳.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

پاینده، خ.، مجدم، م.، و درودگر، ن. ۱۳۹۹. مطالعه کیفیت و عملکرد دانه کلزا رقم هایولا ۴۰۱ با کود مرکب آهن، روی و منگنز تحت تنش قطع آبیاری. فصلنامه تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۳(۱): ۱۱۹-۱۰۹.

پیرزاد، ع.ر.، طوسی، پ. و درویش زاده، ر. ۱۳۹۲. اثر محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر صفات گیاهی و میزان اسانس آنیسون. مجله علوم زراعی ایران. ۱۵(۱): ۲۳-۱۲.

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

خادمی، ز.، رضایی، ح.، ملکوتی، م.ج. و مهاجر میلانی، پ. ۱۳۷۹. تغذیه بهینه کلزا گامی موثر در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت روغن (توصیه کودی برای تولید کنندگان کلزا در خاک‌های کشور). نشریه شماره ۱۴۲. نشر آموزش کشاورزی، کرج. ایران.

رزمی، ن.، عبادی، ع.، دانشیان، ج. و جهانبخش. س. ۱۳۹۸. نقش سالیسیلیک اسید در بهبود سیستم فتوسنتزی و عملکرد دانه ارقام سویا (*Glycin max* L.). نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۳-۳(۵۱). ۳۹۴-۳۷۷.

شکاری، ف.، پاک مهر، آ.، راستگو، م.، وظایفی، م. و قریشی نسب، م. ج. ۱۳۸۹. اثر پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک بر پاره‌ای صفات فیزیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata L.*) تحت تنش کم آبی در زمان غلاف بندی. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. ۴(۱۳): ۳۰-۱۳.

علیزاده، ا. ۱۳۸۱. خشکسالی و ضرورت مدیریت در مصرف آب. فصلنامه خشکی و خشکسالی کشاورزی. ۳: ۷-۳.

عندلیب، ب. ۱۳۸۸. تغییرات اسانس و ترکیب آن در شوید ایرانی (*Anethum graveolens* L.) در طی رشد و نمو در شرایط آبیاری محدود. پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

قلی نژاد، ا.، آینه بند، آ.، قرتاپی، آ.، برنوش، آ. و رضای، م. ۱۳۸۸. ارزیابی تنش خشک‌سالی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت آفتابگردان هیبرید ایزوفلور در سطوح مختلف نیتروژن و جمعیت گیاهان در شرایط آب و هوایی ارومیه. مجله تولیدات گیاهی. ۱۶(۳): ۲۷-۱.

کشاورز، ح. و مدرس ثانوی، س.ع. م. ۱۳۹۳. اثر سالیسیلیک اسید بر کلروفیل، برخی خصوصیات رشدی و عملکرد دو رقم کلزا. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۷(۴): ۱۷۱-۱۶۱.

محلوجی، م.، سید شریفی، ر.، صدقی، م.، سبزعلیان، م.ر. و کمالی، م. ۱۳۹۳. تأثیر شوری آب آبیاری و محلول‌پاشی کودهای نانو و کلات روی بر مؤلفه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های جو. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۷(۴): ۶۰-۴۱.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

مقیمی پور، ز.، محمودی سروستانی، م. و عالم زاده انصاری، ن. ۱۳۹۵. تأثیر محلول‌پاشی نانو کلات و سولفات روی بر میزان جذب عنصر روی، شاخص‌ها و رنگیزه های فتوسنتزی ریحان مقدس (*Ocimum sanctum* L.). نشریه علوم باغبانی.۳۰(۲): ۲۵۰-۲۴۲.

منجم، س.، احمدی، ع.، و محمدی و. ۱۳۹۰. اثر تنش خشکی بر میزان فتوسنتز، تسهیم مواد پرورده و عملکرد دانه ارقام کلزا. مجله علوم زراعی ایران. ۱۳(۳): ۵۴۷-۵۳۳.

میرطالبی، ش.، خواجه پور، م.ر. و حسینی، م. ۱۳۹۱. تأثیر سولفات روی بر رشد و نمو گندم در شمال استان فارس. مجله اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴(۲): ۶۱-۴۷.

وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۴. دستورالعمل زراعت کلزا با استفاده از ارقام هیبرید زمستانه فرانسوی. چاپ شرکت خدمات حمایتی کشاورزی. ۲۳ ص.

Anyia, A.O. and Herzog, H. 2004. Genotypic Variability in Drought Performance and Recovery in Cowpea under Controlled Environment. Journal of Agronomy and Crop Science. 190: 151-159.

Ashraf, M. and Harris, P.J.C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. Photosynthetica. 51(2): 163-190.

Briat, J.F., Curie, C. and Gaymard, F. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. Curr. Opin. Journal Plant Biology. 10: 276-282.

Davari, A. 2017. Influence of drought stress on plant height, biological Yield and Seed yield of Rapeseed in Khash region. International Journal of Agriculture and Biosciences. 6(1): 4-6.

FAO. 2016. Foodoutlook. Global Market Analysis. http://www.fao.foodoutlook.com.

Fateh H., Siosemardeh, A.M. and Sharafi S. 2012. Effect of drought stress on photosynthesis and physiological characteristics of barley, International Journal of Farming and Allied Sciences. 1(2): 33-42.

Godarzi, A., Bazrafshan, F., Zare, M., Faraji, H., Safahani Langeroodi, A.R. 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.

Geoffrey, J.D. 2011. Modifying poppy growth and alkaloid yield with plant growth regulator. MSc thesis, University of Tasmania, Hobart, Australia.

Hayat, Sh., Q. Fariduddin, B. Ali, and A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Acta Agronomica Hongarica. 53(4): 433-437.

Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. Journal of Plant Physiology. 160(5): 485-92.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

Klamkowski, K. and Treder, W. 2006. Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. Agriculturae Conspectus Scientificus. 71(4): 159-165.

Koc, M., Barutcular, C. and Genc, I. 2003. Photosynthesis and productivity of old and modern durum eheats in Mediterranean environment. Journal of Crop Science. 43: 2089-2098.

Omea, H., Kumar, A., Kashiwaba, K. and Sanz, M. 2007. Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) from genotype difference in leaf water relation, shoot growth and photosynthetic parameters. Plant Production Science. 10(1): 28-35.

Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Emam, Y. and Sepaskhah, A.R. 2015. Improving barley performance by proper foliar applied salicylic acid under saline conditions. International Journal of Plant Production. 9(3): 467-486.

Refay, Y.A. 2011. Yield and yield components parameters of bread wheat genotypes as affected by sowing dates. Middle-East Journal Science Research. 7(4): 484-489.

Shah, S.H. 2011. Growth and photosynthetic characteristics of *Nigella sativa* L. as affected by presowing seed treatment with kinetin. Photosynthetica 49(1): 154-160**.**

Shakirova, M.F., Sakhabutdinova, M.V., Bezrukova, R.A. and Fatkhutdinova, F.D. 2003. Changes in the hormonal status of pearl millet seedlings induced by salicylic acid and salinity. Journal of Plant Sciences. 164(3): 317-322.

Sienkiewicz-Cholewa, U., Kieloch, R. 2015. Effect of sulphur and micronutrients fertilization on yield and fat content in winter rapeseeds (*Brassica napus* L.). Plant Soil Environ. 61(4): 164-170.

Waraich, E.A., Ahmad, R., Halim, A. and Aziz. T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: A review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 12, 221-244.

Zaharieva, M., Gaulin, E., Havaux, M., Acevedo, E. and Monneveux, P. 2001. Drought and heat responses in the wild wheat relative Aegilops geninculat roth. Journal of Crop Sciences. 41(4): 1321- 1329.

Yamori, M., Hikosaka, K. and Way, D. A. 2013. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. Photosynthesis Research. 119: 101-117.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]

Effect of foliar application of salicylic acid and micronutrients on photosynthetic activities and rapeseed grain yield under water deficit tension

Y. Mir[1], M. Daneshvar[2]* and A. Ismaili[3]

1) PhD Student of Plant Physiology, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2) Assistant Professor of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

3) Professor of Department of Plant Production Engineering and Genetics, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

***Coressponding author: daneshvar.m@lu.ac.ir**

This article is an excerpt from a doctoral dissertation.

Received date: 2020.12.23 **Accepted date: 2021.04.17**

Abstract

In order to investigate the effect of foliar application of salicylic acid and micronutrients on photosynthetic activities and grain yield of rapeseed under low water tension conditions, an experiment was conducted as a factorial split plot in the form of a statistical randomized complete blocks design with three replications in Agricultural University of Lorestan in the cropping year of 2016-2017. Irrigation at two levels of 20 and 70 percent of field capacity depletion in the main plots and the composition of micronutrients (B1 non-consumption and B2 foliar application at a ratio of 2 per thousand) and salicylic acid factor (concentrations of zero, 0.5, 1 and 1.5 milimolar) were studied in subplots. The results showed that the triple interaction on leaf area index, stomatal conductance, transpiration rate and grain yield were significant. The highest grain yield of 4424 kilogram per hectare was obtained under non-tension and foliar application of micronutrient fertilizer with a concentration of 1.5 milimolar salicylic acid. Water deficit tension affected plant leaf area index and plant gas exchange and by reducing physiological traits such as photosynthesis rate, stomatal conductance, mesophilic conductance, transpiration rate and increasing the concentration of carbon dioxide under the stomatal chamber finally reduced grain yield in canola; however, foliar application of salicylic acid and micronutrients, while significantly reducing the concentration of carbon dioxide under the stomatal chamber, significantly increased leaf area index, mesophilic conductance, stomatal conductance, transpiration rate and photosynthesis rate. Transpiration rate and photosynthesis rate to some extent reduced the negative effects of drought tension on physiological traits of rapeseed and increased grain yield by 37.79 percent. Therefore, Ferti triple mix micronutrient (iron + zinc + manganese) with a concentration of 2 per thousand along with a concentration of one and a half millimoles of salicylic acid is recommended to reduce the adverse effects of water deficit tension and achieve proper performance.

Keywords: Transpiration, Water deficit tension, Photosynthesis, Rapespeed and Stomatal conduction.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2025-07-05]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1400.13.50.7.4]