

ارزیابی اثر تنش خشکی و محلول پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا

ابراهیم فانی^۱، پیمان حسینی^{۲*}، موسی مسکرباشی^۳، خسرو مهدی خانلو^۴ و سید عبدالرضا سید احمدی^۵

(۱) دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

(۲) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

(۳) استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

(۴) استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

(۵) مدیر زراعی سازمان کشاورزی استان خوزستان، ایران.

*نویسنده مسئول: paymanhassibi@gmail.com

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۲

چکیده

به منظور بررسی اثرات تنش خشکی و محلول پاشی سیلیس بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی ارقام کلزا، آزمایشی در سال ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بهبهان اجرا شد. در پژوهش حاضر اثر غلظت‌های صفر و ۳۰ میلی مولار سیلیکات پتاسیم در شرایط آبیاری معمولی (آبیاری بعد از ۲۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده) و شرایط تنش خشکی (آبیاری بعد از ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده) بر روی ۴ رقم کلزا شامل هایولا ۴۰۱، آگامکس، جاکامو و جری در دوره گل‌دهی به صورت طرح اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. بر اساس نتایج، شاخص فتوسنتزی، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b تحت شرایط تنش خشکی به طور معنی‌داری کاهش یافت. مطابق با جدول مقایسه میانگین در حالت محلول پاشی سیلیس، اختلاف میزان شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b نسبت به عدم محلول پاشی معنی‌دار بود. میزان شاخص کلروفیل در حالت تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری معمولی افزایش یافت که علت آن کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی بود. با توجه به نتایج، چون ارقام هایولا ۴۰۱ و آگامکس شرایط بهتری از لحاظ صفات فیزیولوژیکی در مقایسه با ارقام جاکامو و جری داشتند، پیشنهاد می‌گردد در مناطقی از کشور که با تنش کم آبی مواجه هستند مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، فتوسنتز، کلزا و محلول پاشی.

مقدمه

کلزا بعد از نخل روغنی و سویا، سومین گیاه روغنی دنیا از نظر مصرف خوراکی به شمار می آید (FAO, 2011). سازگاری کلزا به شرایط متفاوت محیطی و امکان توسعه ی کشت آن، نقطه امیدی جهت تولید روغن مورد نیاز کشور است (فتحی و همکاران، ۱۳۸۹). اثر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ ها و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد (Maghsoudi et al., 2013). همچنین کاربرد سیلیسیم محلول جهت تولید غلظت های بالاتر آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز در برگ لازم است. این آنزیم سوخت و ساز دی اکسید کربن را تنظیم کرده و در تثبیت دی اکسید کربن توسط گیاهان نقش مهمی دارد (Sonobe et al., 2011). غلظت بیش تر این آنزیم می تواند منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه شود (Maghsoudi et al., 2013). نتایج بعضی پژوهش ها حاکی از آن است که کاربرد سیلیس به میزان ۲/۵ میلی مولار سبب افزایش تحمل به تنش های محیطی از جمله شوری در گیاه گندم شده است (Maghsoudi and Emam, 2016). کلروفیل مهم ترین رنگدانه جذب کننده نور در غشاهای تیلاکوئیدی می باشند (Hopkins and Hopkins, 2004). تنش خشکی با تولید گونه های اکسیژن واکنش گر باعث خسارت و القای تنش اکسیداتیو می شود که منجر به خسارت به رنگدانه های فتوسنتزی می گردد (Ashraf and Ali, 2008). شاخص کلروفیل که بیانگر غلظت کلروفیل در واحد سطح است از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز است و به نحوی قدرت منبع را مشخص می کند (Ghosh et al., 2004). شاخص کلروفیل تحت تنش خشکی با کوچک شدن و فشرده شدن سلول و برگ افزایش می یابد (Siddiqui et al, 2008). یکی از مراحل حساس به تنش خشکی در کلزا، مرحله گل دهی است (Qifuma et al., 2006). هدف از این آزمایش بررسی اثر محلول پاشی سیلیس بر ویژگی های فیزیولوژیک گیاه کلزا مانند شاخص فتوسنتزی، شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، سرعت فتوسنتز، میزان کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه بهبهان به مختصات 30° شمالی و $50^{\circ}24'$ شرقی انجام گرفت. محل آزمایش دارای اقلیم نیمه خشک، ارتفاع از سطح دریا ۳۲۵ متر و میانگین بارش سالانه ۲۵۰ میلی متر است. ویژگی های خاک منطقه در جدول ۱ مشخص شده است. ارقام مورد بررسی در آزمایش عبارت بودند از: هایولا ۴۰۱ آگامکس (V_2)، جاکامو (V_3) و جری (V_4). آبیاری دارای دو سطح بود: ۱- آبیاری بعد از ۲۵ درصد تخلیه ی آب قابل استفاده (معمولی یا D_1)، ۲- آبیاری بعد از ۷۵ درصد آب قابل

استفاده (تنش خشکی یا D_2) (فتحی و عنایت قلی‌زاده، ۱۳۸۹). محلول‌پاشی دارای دو سطح عدم محلول‌پاشی (S_0) و محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌مولار (S_1) بود.

جدول ۱: نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	چگالی مخصوص	رطوبت	رطوبت	بافت
(سانتیمتر)	(دسی زیمنس بر متر مربع)	خاک	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(درصد)	ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)	ظرفیت زراعی (درصد)	نقطه پژمردگی (درصد)	خاک
۰-۳۰	۳/۹۴	۷/۱۸	۶۷/۵۴	۶۰۶	۲/۶	۱/۳۱	۲۰/۴۱	۴/۷۰	سیلت

نحوه‌ی پیدا نمودن ۲۵ درصد تخلیه‌ی آب قابل استفاده (معمولی یا D_1) و آبیاری بعد از ۷۵ درصد آب قابل استفاده (تنش خشکی یا D_2) به این صورت بود که رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه‌ی پژمردگی در دوره گل‌دهی اندازه‌گیری شد و بر اساس آن میزان رطوبت قابل استفاده محاسبه و ۲۵ درصد آن از ظرفیت زراعی کم و آبیاری معمولی انجام شد و ۷۵ درصد آن از ظرفیت زراعی کم و تنش خشکی اعمال شد (سید احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). از روش وزنی (رابطه ۱) برای محاسبه میزان آب مصرفی برای آبیاری در حالت آبیاری معمولی و تنش خشکی استفاده شد (گوچه و همکاران، ۱۳۸۵):

$$I = \frac{\theta - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \times P \times D \quad \text{رابطه ۱:}$$

θ = رطوبت خاک هنگام آبیاری (درصد وزنی)، θF = رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی (درصد وزنی)، P = چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D = عمق مؤثر ریشه (سانتی‌متر)، I = ارتفاع آب آبیاری (سانتیمتر). به‌وسیله‌ی رابطه‌ی ۲، حجم آب آبیاری موردنیاز به لیتر در هر کرت برآورد گردید:

$$V = I \times A \times 1000 \quad \text{رابطه ۲:}$$

V = حجم آب آبیاری (لیتر)، I = ارتفاع آب آبیاری (سانتیمتر). از محلول سیلیکات پتاسیم در دو سطح (۰ و ۳۰ میلی‌مولار) به‌عنوان تیمار محلول‌پاشی در ابتدای دوره گل‌دهی استفاده شد (Thang et al., 2015). بعد از دو هفته از اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی در هر مرحله رشدی (دو هفته بعد از شروع ساقه‌دهی، گل‌دهی، خورجین‌دهی و پر شدن دانه) پارامترهای فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شدند (Bi-Li et al., 2015).

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

اندازه‌گیری میزان کلروفیل کل (SPAD)، به‌وسیله دستگاه کلروفیل متر مدل CCM-200 plus, Opti- Sciences Inc, NA., USA و با استفاده از سومین برگ توسعه‌یافته بالای گیاه انجام شد. سومین برگ توسعه‌یافته بالای گیاه برای

اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز و تعرق تعیین شد. سرعت فتوسنتز و تعرق دو هفته بعد از اعمال تنش خشکی و محلول پاشی سیلیس در مرحله گلدهی، از ساعت ۹-۱۱ صبح به وسیله دستگاه فتوسنتز متر مدل KR 8700 system; Korea Tech Inc. Suwon., Korea اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل a و b مطابق با روش Lichtenthaler (۱۹۸۷) و با استفاده از رابطه‌های ۳ و ۴ اندازه‌گیری شد:

$$\text{Chla} = 12/25(A664) - 2/79(A647) \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$\text{Chlb} = 21/21(A647) - 5/1(A664) \quad \text{رابطه ۴:}$$

برای اندازه‌گیری شاخص فتوسنتزی، از دستگاه کلروفیل فلورومتر مدل Pocket Pea استفاده شد. ابتدا به وسیله‌ی قرار دادن گیره بر روی سطح برگ سوم، برگ به مدت ۲۰ دقیقه در حالت تاریکی قرار گرفت، سپس با اتصال رابط دستگاه به برگ و تنظیم آن، شاخص فتوسنتزی اندازه‌گیری شد. داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SAS 9.2 آنالیز و برای مقایسه میانگین اثرهای ساده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص فتوسنتزی^۱ (PI)

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس^۲، اختلاف معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی از نظر شاخص فتوسنتزی، در سطح ۱ درصد وجود داشت. جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که بین ارقام از لحاظ شاخص فتوسنتزی تفاوت معنی‌دار وجود داشت، به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شاخص فتوسنتزی به ترتیب با ۲/۸۹۲ و ۲/۶۷۶ به رقم هایولا ۴۰۱ و جاکامو اختصاص داشت. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که بین محلول پاشی و عدم محلول پاشی سیلیس تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. Lotfi و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که در حالت محلول پاشی موادی مانند فولویک اسید در تنش شدید خشکی، میزان شاخص فتوسنتزی به ۲/۲۰ می‌رسد که در مقایسه با عدم محلول پاشی بیشتر است (۲/۲۰ در مقایسه با ۱/۸۰) اما تفاوت معنی‌دار نبود.

سرعت فتوسنتزی^۲ (PR)

نتایج جدول تجزیه واریانس^۲ نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی از نظر سرعت فتوسنتزی، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، سرعت فتوسنتز ۸/۹۷ میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه و در شرایط تنش خشکی ۵/۱۵ میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه بود که باهم تفاوت معنی‌دار داشتند. مقایسه میانگین جدول ۳ نشان داد که سرعت فتوسنتز ارقام

1- Photosynthesis index

2- Photosynthesis rate

هایولا ۴۰۱ و جری به ترتیب با ۸/۵۶ و ۷/۳۳ میکرومول دی اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه تفاوت معنی داری با هم داشتند، اما این ارقام با ارقام آگامکس و جاکامو که به ترتیب دارای سرعت فتوسنتز ۶/۲۵۱ و ۶/۱۰۸ میکرومول دی اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه بودند، تفاوت معنی دار داشتند. ارقام آگامکس و جاکامو باهم تفاوت معنی دار نداشتند. محلول پاشی با میانگین سرعت فتوسنتزی ۷/۴۷۵ میکرومول دی اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه نسبت به عدم محلول پاشی با میانگین سرعت فتوسنتزی ۶/۶۵۴ میکرومول دی اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه، تفاوت معنی داری از لحاظ سرعت فتوسنتزی داشت (جدول ۳). تنش ملایم خشکی، میزان فتوسنتز را همراه با کاهش میزان تعرق بیش تر از طریق عوامل قابل برگشت روزه ای کاهش می دهد، اما در شرایط شدیدتر تنش یا در تنش های طولانی، عوامل غیر روزه ای نیز مزید بر علت شده و اثر نامطلوب تنش عموماً غیرقابل برگشت می گردد (Ahmadi and Baker, 2000). تنش رطوبتی از طریق برهم زدن واکنش های بیوشیمیایی مسیر فتوسنتزی، موجب کاهش سرعت فتوسنتز می شود (Lauer and Boyer, 1992). نتایج تحقیقات منجم و همکاران (۱۳۹۰) بر روی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی نشان داد که در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی سرعت فتوسنتزی به ترتیب با ۹/۵۰ و ۷/۹ میکرومول دی اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه باهم تفاوت معنی دار داشتند، به عبارتی سرعت فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی ۱۶/۸۴ درصد کمتر از شرایط آبیاری معمولی بود که می تواند به علت تخریب کلروفیل در شرایط تنش خشکی باشد.

شاخص کلروفیل

نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد که اختلاف معنی داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی و سطوح محلول پاشی از نظر شاخص کلروفیل، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، شاخص کلروفیل ۴۱/۹۰ و در شرایط تنش خشکی ۵۹/۱۶ است که با هم تفاوت معنی دار دارند. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که شاخص کلروفیل ارقام جری و جاکامو به ترتیب با ۵۳/۰۰۸ و ۵۲/۸۲۸ تفاوت معنی داری با هم ندارند، اما این ارقام با ارقام آگامکس و هایولا ۴۰۱ که به ترتیب دارای شاخص کلروفیل ۴۹/۸۰۵ و ۴۶/۴۹۶ هستند، تفاوت معنی دار دارند. ارقام آگامکس و هایولا باهم تفاوت معنی دار ندارند. محلول پاشی با میانگین شاخص کلروفیل ۵۳/۸۴۳ نسبت به عدم محلول پاشی با میانگین شاخص کلروفیل ۴۷/۲۲۶، تفاوت معنی داری از لحاظ شاخص کلروفیل دارد (جدول ۳). تحقیقات یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی کلزا نشان شد که میزان شاخص کلروفیل در زمان اعمال تنش خشکی در رقم هایولا ۴۰۱ ۵۷/۲۰ و در شرایط آبیاری معمولی ۵۴/۴۰ بود یعنی در شرایط تنش خشکی میزان شاخص کلروفیل ۴/۸۹ درصد افزایش یافت. محلول پاشی سیلیس به علت افزایش غلظت کلروفیل می تواند دلیلی برای افزایش شاخص کلروفیل در هر دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی باشد (امیری و همکاران، ۱۳۹۲). محلول پاشی

سیلیس موجب افزایش شاخص کلروفیل می شود که می تواند به علت نقش این عنصر در ساخت کلروفیل در گیاه باشد. شاخص کلروفیل بیانگر غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ است، بنابراین افزایش آن در زمان اعمال تنش خشکی با کوچک تر و فشرده تر شدن سلول های مزوفیل ناشی از اثرات تنش مرتبط است، این نتایج با تحقیقات Siddiqui و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. اثرات مثبت محلول پاشی سیلیس ممکن است به دلیل نقش آن در حفاظت از دستگاه فتوسنتزی باشد.

جدول ۲: تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی و محلول پاشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص فتوسنتزی	سرعت فتوسنتز	شاخص کلروفیل	سرعت تعرق	کلروفیل a	کلروفیل b
تکرار	۲	ns/۱۱	ns/۱۸۷	۳۵/۹۳ ^{ns}	۰/۰۲۱*	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}
تنش خشکی	۱	**۴/۹۷	**۱۷۵/۱۰	۳۵۷۵/۷۹ **	۰/۱۴۵ **	۰/۲۳**	۰/۹۹**
تکرار × خشکی	۲	۰/۰۴۱	۱/۱۲	۷۴/۱۳	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۳
رقم	۳	ns/۲۴	ns/۱۵/۵۶	۱۱۲/۸۷ ^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۳۲**	۰/۶۸**
محلول پاشی	۱	ns/۱۰	ns/۰/۰۸	۵۲۵/۳۷ **	۰/۰۳۱ ^{ns}	۰/۰۹**	۰/۰۹ ^{ns}
تنش خشکی × ارقام	۳	ns/۴۳	ns/۰/۰۳	۱۲/۲۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}
تنش خشکی × محلول پاشی	۱	ns/۰/۰۰۲	ns/۰/۱۰	۱۸/۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}
ارقام × محلول پاشی	۳	ns/۰/۰۹۳	ns/۰/۳۷۰	۴/۶۵۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۳۶ ^{ns}
تنش خشکی × ارقام × محلول پاشی	۳	ns/۰/۰۴۰	ns/۰/۱۹	۳/۶۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۳۹ ^{ns}	۰/۰۱۰۸ ^{ns}
اشتباه	۲۸	۰/۰۶۹	۲/۳۱	۲۰/۵۶	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۶۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۹/۳۴	۲۱/۵۲	۸/۹۷	۱۴/۲۴	۲/۲۵	۵/۱۳

سرعت تعرق

نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد که تفاوت معنی داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی از نظر سرعت تعرق، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، سرعت تعرق ۰/۴۴۶ و در شرایط تنش خشکی ۰/۳۳۶ میکرومول بخار آب در متر مربع در ثانیه است که این تفاوت معنی دار بود. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که سرعت تعرق ارقام هایولا ۴۰۱ و جری به ترتیب با ۰/۴۲۵ و ۰/۳۹۸ میکرومول بخار آب در متر مربع در ثانیه تفاوت معنی داری با هم نداشتند. همچنین ارقام جاکامو و آگامکس به ترتیب با ۰/۳۹۰ و ۰/۳۵۱ تفاوت

معنی داری با هم نداشتند. محلول پاشی با میانگین سرعت تعرق ۰/۴۱۶ نسبت به عدم محلول پاشی با میانگین سرعت تعرق ۰/۳۶۵، تفاوت معنی داری از لحاظ سرعت تعرق داشت (جدول ۳). Habibi (۲۰۱۴) در پژوهشی نشان داد که در کلزا در شرایط تنش خشکی در مقایسه با آبیاری معمولی سرعت تعرق کاهش می یابد که در حالت عدم محلول پاشی سیلیس این کاهش ۵۰/۷۵ درصد و در حالت محلول پاشی سیلیس به صورت سیلیکات سدیم (۰/۳۵) گرم سیلیکات سدیم در کیلوگرم خاک) این کاهش ۲۹/۷۷ درصد بود.

جدول ۳: مقایسه میانگین ساده صفات فیزیولوژیکی ارقام کلزا در شرایط تنش خشکی و محلول پاشی

تیماها	شاخص	سرعت فتوسنتز	شاخص	سرعت تعرق	کلروفیل a	کلروفیل b
فتوسنتزی	(میکرو مول	دی اکسید کربن در	کلروفیل	(میکرو مول بخار آب در	(میلی گرم در گرم	(میلی گرم در گرم
	متر مربع در ثانیه)	متر مربع در ثانیه)		متر مربع در ثانیه)	وزن تازه برگ)	وزن تازه برگ)
تنش						
D ₁	a ۳/۱۴	۸/۹۷a	۴۱/۹۰c	a ۰/۴۴۶	a ۲/۶۰۶	a ۱/۷۵۳
D ₂	b ۲/۴۹	۵/۱۵c	۵۹/۱۶a	b ۰/۳۳۶	b ۲/۴۶۶	b ۱/۴۶۵
ارقام						
هایولا ۴۰۱	a ۲/۸۹۲	۸/۵۶۱a	۴۶/۴۹۶b	a ۰/۴۲۵	a ۲/۷۶۱	a ۱/۹۰۳
آگامکس	a ۲/۹۸۵	۶/۲۵۱b	۴۹/۸۰۵ab	b ۰/۳۵۱	b ۲/۵۴۲	b ۱/۶۸۷
جاکامو	b ۲/۶۷۶	۶/۱۰۸b	a ۵۲/۸۲۸	ab ۰/۳۹۰	d ۲/۳۸۲	d ۱/۳۵۶
جری	b ۲/۷۲۸	۷/۳۳۸a	a ۵۳/۰۰۸	ab ۰/۳۹۸	c ۲/۴۵۸	c ۱/۴۹۱
محلول پاشی						
سطح ۱	a ۲/۸۶۷	۷/۴۷۵a	a ۵۳/۸۴۳	a ۰/۴۱۶	a ۲/۵۸۰	a ۱/۶۵۳
سطح صفر	a ۲/۷۷۴	۶/۶۵۴a	b ۴۷/۲۲۶	b ۰/۳۶۵	b ۲/۴۹۲	b ۱/۵۶۵

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد است.

مقدار کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تازه برگ)

همان طور که نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد تفاوت معنی داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی، ارقام و سطوح محلول پاشی از نظر مقدار کلروفیل a، در سطح ۱ درصد وجود داشت. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، مقدار کلروفیل a ۲/۶۰۶ و در شرایط تنش خشکی ۲/۴۶۶ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ بود که این تفاوت معنی دار بود. همچنین مقایسه میانگین جدول ۳ نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a به ارقام هایولا ۴۰۱ و

آگامکس به ترتیب با ۲/۷۶۱ و ۲/۵۴۲ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ اختصاص داشت و تفاوت آن‌ها معنی داری بود. همچنین ارقام جری و جاکامو به ترتیب با ۲/۴۵۸ و ۲/۳۸۲ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ تفاوت معنی داری از لحاظ مقدار کلروفیل a با هم داشتند. محلول پاشی با میانگین ۲/۵۸۹ نسبت به عدم محلول پاشی با میانگین ۲/۴۹۲ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ، تفاوت معنی داری از لحاظ مقدار کلروفیل a داشت (جدول ۳). تحقیقات بر روی گیاه کلزا نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی (آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) میزان کلروفیل a را ۷/۲۵ درصد نسبت به شاهد یا آبیاری معمولی (آبیاری بعد از ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) کاهش داد (زالی و همکاران، ۱۳۹۵). می‌توان چنین تحلیل کرد که تنش رطوبتی باعث افزایش غلظت آبسزیک اسید در برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها می‌شود. در واقع آبسزیک اسید، سرعت فتوسنتز، مقدار کلروفیل و پروتئین محلول برگ‌ها را کاهش می‌دهد. مطالعات نشان داد که تنش رطوبتی از طریق بر هم زدن واکنش‌های بیوشیمیایی مسیر فتوسنتزی، موجب کاهش سرعت فتوسنتز شد.

مقدار کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تازه برگ)

همان‌طور که نتایج جدول تجزیه واریانس ۲ نشان داد تفاوت معنی داری بین شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی و ارقام از نظر مقدار کلروفیل b در سطح ۱ درصد وجود داشت، اما بین محلول پاشی و عدم محلول پاشی تفاوت معنی داری مشاهده نشد. مطابق با جدول مقایسه میانگین ۳، در حالت آبیاری معمولی، مقدار کلروفیل b ۱/۷۵۳ و در شرایط تنش خشکی ۱/۴۶۵ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ بود که این تفاوت معنی دار بود. همچنین جدول مقایسه میانگین ۳ نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b به ارقام هایولا ۴۰۱ و آگامکس به ترتیب با ۱/۹۰۳ و ۱/۶۸۷ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ اختصاص داشت و تفاوت آن‌ها معنی داری بود. همچنین ارقام جری و جاکامو به ترتیب با ۱/۴۹۱ و ۱/۳۵۶ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ تفاوت معنی داری از لحاظ مقدار کلروفیل b با هم داشتند. محلول پاشی با میانگین ۱/۶۵۳ نسبت به عدم محلول پاشی با میانگین ۱/۵۶۵ میلی گرم در گرم وزن تازه برگ، تفاوت معنی داری از لحاظ مقدار کلروفیل b داشت (جدول ۳). بررسی‌های صورت گرفته توسط زالی و همکاران (۱۳۹۵) بر روی گیاه کلزا نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی (آبیاری بعد از ۱۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) میزان کلروفیل a را ۸/۲۷ درصد نسبت به شاهد یا آبیاری معمولی (آبیاری بعد از ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) کاهش داد. در شرایط تنش، کمپلکس‌های برداشت کننده نور بیش‌تر آسیب می‌بینند که باعث کاهش شدید کلروفیل b در کلروپلاست و افزایش نسبت a به b تحت تنش خواهد شد (Oncel et al., 2000). تحقیق بر روی گیاهچه‌های سویا نشان داد که تیمار با سیلیس ۱/۷۰ میلی مولار و ۳ روز بعد از آن اعمال تنش خشکی ۵/۰- مگا پاسکال با پلی اتیلن گلیکول ۲۰ درصد سبب کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی

می‌شود که با افزودن تیمار سیلیکون خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو به رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد. سیلیکون باعث افزایش محتوای کلروفیل و در نهایت افزایش فتوسنتز می‌شود (Shen et al., 2010).

نتیجه‌گیری

صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه این تحقیق از نظر عکس‌العمل به محلول‌پاشی یا عدم محلول‌پاشی سیلیس، نتایج متفاوتی را نشان دادند به‌طوری‌که میزان شاخص فتوسنتزی و سرعت فتوسنتزی در حالت محلول‌پاشی به ترتیب ۳/۲۴ و ۱۰/۹۸ درصد بیشتر از عدم محلول‌پاشی بود، اما تفاوت معنی‌دار نبود. صفات شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط محلول‌پاشی سیلیس به ترتیب ۱۲/۲۸، ۱۲/۲۵، ۳/۴۱ و ۵/۳۲ درصد بیشتر از حالت عدم محلول‌پاشی بود و تفاوت محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی معنی‌دار بود. در جمع‌بندی، با توجه به افزایش معنی‌دار صفات فیزیولوژیکی مهمی مانند شاخص کلروفیل، سرعت تعرق، کلروفیل a و کلروفیل b در شرایط محلول‌پاشی سیلیس در مقایسه با عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی، می‌توان نتیجه گرفت که محلول‌پاشی سیلیس می‌تواند باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی و بهبود رشد در شرایط تنش خشکی گردد و کاربرد آن در چنین شرایطی توصیه می‌گردد. با توجه به داده‌های نتایج، ارقام هایولا ۴۰۱ و آگامکس در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی سیلیس شرایط بهتری از لحاظ صفات فیزیولوژیکی در مقایسه با ارقام جاکامو و جری داشتند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دکتری است و بدین‌وسیله از زحمات همه‌ی اساتید راهنما و مشاور تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- امیری، ا.، باقری، ع.ا.، خواجه، م.، نجف‌آبادی پور، ف. و یداللهی، پ. ۱۳۹۲. اثر محلول‌پاشی سیلیکون بر عملکرد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گلرنگ در شرایط کم آبیاری. مجله پژوهش‌های به زراعی. ۵ (۴): ۳۶۱-۳۷۲.
- زالی، ح.، حسنلو، ط.، سفالیان، ا.، اصغری، ع. و زین‌العابدینی، م. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر پارامترهای فیزیولوژیکی و تجمع اسیدهای آمینه در کلزا. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۸ (۱۸): ۱۹۱-۲۰۳.
- سید احمدی، ع.، بخشنده، ع. و قرینه، م. ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش خشکی پایان فصل در شرایط آب و هوایی اهواز. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۲۵ (۱): ۷۱-۸۰.
- فتحی، ق. و عنایت قلی زاده، م. ۱۳۸۹. تأثیر استرس خشکی در مراحل رشد بر عملکردهای دانه و روغن ارقام کلزا. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۲ (۸): ۹۷-۱۱۴.

- فتیحی، ق.، مرادی تلاوت، م. و نادری عارفی، ع. ۱۳۸۹. فیزیولوژی کلزا. انتشارات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ۲۴۸ صفحه.
- گوشه، م.، صارمی، م. و وزیری، ژ. ۱۳۸۵. تعیین دور و عمق مناسب آبیاری کلزا به روش تشت تبخیر در استان خوزستان. مجله‌ی علوم خاک و آب. ۲۰ (۱): ۱۶۴-۱۷۱.
- 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.
- یوسفی، ف.، حسینی، پ.، روشنفکر، ح. و مسکر باشی، م. ۱۳۹۴. مطالعه اثر تنش‌های شوری و خشکی روی برخی مؤلفه‌های فیزیولوژیکی دو رقم کلزا در اهواز. مجله علمی کشاورزی تولیدات گیاهی. ۳۸ (۴): ۳۴-۲۵.
- Ahmadi, A. and Baker, D. A. 2000.** Stomatal and non stomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. Iran J. Agric. Sci. 31(4): 813-825.
- Ashraf, M. and Ali, Q. 2008.** Relative and activities of some antioxidant enzymes the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany, 63: 266-273.
- Bi-li, C., Ma, Q., Zhao, Q., Wang, L. and Xu, K. 2015.** Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. Scientia Horticulturae, 194: 53-62.
- FAO. 2011.** Crop Production Statistics.
- Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K.G., Mandal, A.K. and Hati, K.M. 2004.** Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer- NPK on three cropping system in verticals of semi- arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bioresource Technology, 95: 85- 93.
- Habibi, G. 2014.** Silicon supplementation improves drought tolerance in canola plants. Russian Journal of Plant Physiology, 61 (6): 784-791.
- Hopkins, W. G. and Hopkins, N. P. A. 2004.** Introduction to Plant Physiology. John Wiley & Sons Pub., New Jersey.
- Lauer, M. J. and Boyer, J. S. 1992.** Internal CO₂ measured directly in leaves. Absciscic acid and low leaf water potential cause opposing effects. Plant Physiology, 98: 1310-1316.
- Lichtenthaler, H. K. 1987.** Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic bio membranes. Methods in Enzymology, 148: 350-382.
- Lotfi, R., Pessarakli, M., Gharavi- Kouchebagh, P. and Khoshvaghti, H. 2015.** Physiological responses of *Brassica napus* to fulvic acid under water stress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. The Crop Journal, 1(18): No of Pages 6.

Maghsoudi, K., Emam, Y. and Pessarakli, M. 2013. Effect of silicon on photosynthetic gas exchange, photosynthetic pigments, cell membrane stability and relative water content of different wheat cultivars under drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39 (7): 1001-1015.

Maghsoudi, K. and Emam, Y. 2016. Effect of exogenous silicon on seed germination and seedling growth of wheat cultivars under salt stress conditions. *Iran Agricultural Research*, 35 (2): 1-8.

Oncel, I., Keles, Y. and Ustun, A.S. 2000. Interactive of temperature and heavy metal stress on the growth and some biological compounds in wheat seedling. *Environmental Pollution*, 107: 315-320.

Qifuma, S.H., Niknam, R. and Turner, D.W. 2006. Responses of osmotic adjustment and seed yield of *Brassica napus* and *B. juncea* to soil water deficit at different growth stages. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57: 221-226.

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., LI, Z., Eneji, A.E. and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet B radiation. *Journal of plant physiology*, 167 (15): 1248-1252.

Siddiqui, Z.S., Ajaml Khan, M., Kim, B.G., Huang, J.S. and Kwon, T.R. 2008. Physiological response of brassica napus genotype to combined drought and salt stress. *Plant stress*, 2 (1): 78-83.

Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, A. E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K. and Inanaga, S. 2011. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 34: 71-82.

Thang, V. N., Si-Hong, K., Seung-Yeon, K., Ki-Young, C. and Il-Seop, K. 2015. Effect of Silicate Fertilizer on Growth, Physiology and Abiotic Stress Tolerance of Chinese Cabbage Seedlings. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 24 (2): 51-56.