Archive of SID

به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰
صفحه‌های ۳۰۶-۲۹۱

مقاله پژوهشی:

بررسی تأثیر سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری

مهدیه شیخعلیان[۱]، یوسف سهرابی[۲*]، فرزاد حسین پناهی[۳]، امیرحسین شیرانی‌راد[۴]
۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
۲. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
۴. استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
تاریخ دریافت مقاله:۱۳۹۸/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸

چکیده
به‌منظور بررسی اثر برهم‌کنش سدیم نیتروپروساید و تنش خشکی بررنگیزه‌های فتوسنتزی و رابطه آن با عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا آزمایشی طی دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹٤ و ۹٦-۱۳۹۵) در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از سه تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی و قطع آبیاری از مرحله شروع پرشدن دانه و چهار تیمار محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید با غلظت‌های صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرو مولار. نتایج نشان داد قطع آبیاری باعث کاهش معنی‌دار مقادیر صفات موردمطالعه شد. محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش خشکی را افزایش داد. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی گیاه با ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و آبیاری کامل (۵۱۲۹ کیلوگرم در هکتار) و تیمار عدم محلول‌پاشی و قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی (۳۳۹٦ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. آزمایش، بیان‌گر آن بود که مصرف سدیم نیتروپروساید می‌تواند اثرات مثبتی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا در شرایط تنش و عدم تنش خشکی داشته باشد و لذا کاربرد آن در شرایط کمبود آب می‌تواند اثرات مخرب تنش خشکی را تا حدود زیادی تعدیل نماید.

کلیدواژه‌ها: اجزای عملکرد دانه، سدیم نیتروپروساید، کاروتنوئید، کلروفیل، کلزا.

Effect of Sodium Nitroprusside on Photosynthetic Pigments and Grain Yield of Rapeseed under Different Irrigation Regimes

Mahdieh Sheikhaliyan[1], Yousef Sohrabi[2*], Farzad Hossainpanahi[3], AmihossainShiraniRad[4]
1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.
4. Professor, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
Received: March 12, 2020 Accepted: September 8, 2020

Abstract
In order to investigate the interaction between sodium nitroprusside and drought stress on photosynthetic pigments and their relationship with yield and yield components of rapeseed, an experiment has been conducted during two cropping years (2015-16 and 2016-17) at Hamedan Agricultural and Natural Resources Research Center. The experiment is carried out as a factorial in randomized complete block design with three replications. The experimental factors been irrigation levels, including full irrigation (control), irrigation termination from beginning silique stage, and irrigation termination from grain filling stage, as well as four treatments of foliar application of sodium nitroprusside with concentrations of 0, 100, 200, and 300 µM. Results show that irrigation termination has significantly reduced the amounts of studied traits, while sodium nitroprusside foliar application has increased the amounts of photosynthetic pigments, yield, and grain yield components under drought stress and non-stress conditions. The highest and the lowest grain yield are obtained in combined treatments of plant foliar application with 300 mM sodium nitroprusside and full irrigation (5129 kg/ha) and non-foliar application and irrigation interruption at the beginning silique stage (3396 kg/ha), respectively. The experiment indicates that sodium nitroprusside application can have positive effects on photosynthetic pigments, yield components, and grain yield of rapeseed under drought stress and non-stress conditions. Thus, its application can greatly mitigate the adverse effects of drought stress in water deficit conditions.

Keywords: Carotenoid, chlorophyll, rapeseed, grain yield components, sodium nitroprusside.

* نویسنده مسئول
Email: y.sohrabi@uok.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه دانه‌های روغنی به‌دلیل داشتن ترکیبات مهم و با ارزش که در تغذیه انسان و صنایع مختلف به‌طور وسیعی کاربرد دارند، در بین محصولات زراعی از اهمیت و ارزش خاصی برخوردار هستند. چربی‌ها از ارکان مهم تغذیه سالم بوده و از ۱۷ منبع اصلی گیاهی و حیوانی تأمین می‌گردند. روغن‌های نباتی تولیدشده به‌طور عمده از محصولات سویا، آفتابگردان، کلزا، پنبه‌دانه، نخل روغنی، بادام زمینی و گلرنگ به‌دست می‌آید (Mohsenzadeh *et al*., 2016). کلزای زراعی گیاهی از خانواده شب‌بو (*Brasicaceae*)، یک‌ساله، دگرگشن و یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که از دانه آن جهت تولید روغن استفاده می‌شود (Barthet, 2016). در دهه اخیر، این محصول روغنی از نظر متوسط عملکرد روغن جهانی از رتبه پنجم به رتبه سوم صعود کرده است و این امر، اهمیت تولید این محصول زراعی و لزوم مقابله با عوامل محدودکننده عملکرد در راستای بهبود عملکرد این گیاه را در مقیاس جهانی نشان می‌دهد (Barthet, 2016; Gerzhova *et al*., 2016; Gul *et al*., 2014). یکی از مهم‌ترین عواملی که باعث کاهش عملکرد در گیاهان زراعی می‌شود، تنش‌های محیطی می‌باشد (Galashi, 2015; Kafi & Mahdavi Damghani, 2016). این تنش‌ها می‌توانند بر رشد، متابولیسم و عملکرد گیاهان اثر منفی داشته باشند. در این میان، خشکی یکی از مشکلات عمده تولید پایدار محصولات کشاورزی به‌شمار می‌آید که بر بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه اثر منفی داشته و رشد گیاه را مختل می‌کند (Malekotti *et al*., 2005). تنش خشکی یک تنش بسیار معمول است و تنش خشکی طولانی‌مدت بر تمام فرایندهای متابولیک گیاه اثر می‌گذارد و موجب کاهش محصول آن می‌گردد (Dolatabadian *et al*., 2009). تنش خشکی باعث بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و کاهش رشد گیاه می‌شود و پس از آن به‌دلیل وقوع تنش اکسیداتیو، ترکیبات مختلف گیاه از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی، لیپیدها و پروتئین‌های غشا آسیب دیده و این امر باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها شده و در نهایت مرگ سلول را در پی خواهد داشت (Farooq *et al*., 2009). طی تنش خشکی به‌دلیل کاهش تنفس و کاهش تولید انرژی در سلول، سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد و این امر همراه با تخریب رنگیزه‌ها (ناشی از تنش اکسیداتیو ایجادشده) باعث کاهش شدید مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Lawlor & Cornic, 2012).

یکی از راه‌هایی که به‌تازگی به‌منظور کاهش اثرات منفی تنش بر رشد و نمو گیاهان، موردآزمایش قرار گرفته کاربرد ترکیباتی مانند سدیم‌نیتروپروساید است. این ترکیب یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که می‌تواند به‌عنوان واسطه در عمل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شرکت کند و در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که در انتقال پیام و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی نیز دخالت دارد (Leshem *et al*., 2017; Del Rio *et al*., 2004). سدیم‌نیتروپروساید می‌تواند فرایندهای مرتبط با رشدونمو را تنظیم کند (Leshem *et al*., 2017). گزارش شده است که رشد بوته‌های آفتابگردان پیش‌تیمارشده با ۰/۵ میلی مولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش، نسبت به گیاهان تیمار نشده بهبود پیدا کرد و علائمی از قبیل کلروزه شدن و لکه‌های نکروزه در برگ‌ها کاهش یافت (Laspina *et al*., 2005). هم‌چنین محتوی کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت. تنش خشکی به‌طور معنی‌داری موجب کاهش رشد گیاهچه در برنج گردید، در حالی که تیمار گیاه با سدیم‌نیتروپروساید در همین شرایط موجب بهبود رشد گیاه شد (Farooq *et al*., 2009). کاربرد خارجی سدیم‌نیتروپروساید توان گیاه در جذب آب در شرایط تنش خشکی را بهبود بخشید. در همین

www.SID.ir

Archive of SID

راستا برخی پژوهش‌گران در پژوهش خود گزارش کردند که کاربرد خارجی سدیم‌نیتروپروساید، بسته‌شدن روزنه‌ها را تحریک و سلول‌ها را در برابر تنش اکسیداتیو محافظت نمود و در واقع، محلول‌پاشی گیاه با این ترکیب، نفوذپذیری غشا، نشت الکترولیت‌ها، تخریب کلروفیل‌ها و هم‌چنین میزان H_2O_2 موجود در برگ را کاهش داد (Neill *et al*., 2008). با توجه به اثرات مثبت سدیم‌نیتروپروساید بر گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی و اهمیت گیاه کلزا به‌عنوان یک گیاه روغنی استراتژیک، این پژوهش با هدف بررسی میزان تأثیر سدیم‌نیتروپروساید در تعدیل اثرات تنش خشکی بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا و روابط بین آن‌ها انجام شد.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌مدت دو سال زراعی (۹۵-۱۳۹٤ و ۹٦-۱۳۹۵)، در ایستگاه اکباتان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان با مختصات عرض جغرافیایی ۳٤ درجه و ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی ٤۸ درجه و ۳۲ دقیقه، با ارتفاع ۱۷۵۷ متر از سطح دریا به‌اجرا درآمد. در این آزمایش سه سطح آبیاری و چهار سطح محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید (جمعاً ۱۲ تیمار) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. فاکتور آبیاری شامل آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه (تنش متوسط) و قطع آبیاری از مرحله‌ی خورجین‌دهی (تنش شدید) بود. جهت انجام آبیاری از لوله‌های پلی‌اتیلن در هر تکرار استفاده شد و با استفاده از شیرهای انشعاب در هر ردیف کاشت، آبیاری کرت‌های آزمایشی کنترل و امکان اعمال تیمارهای مختلف آبیاری فراهم شد. فاکتور محلول‌پاشی با سدیم‌نیتروپروساید نیز در چهار غلظت صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی ماده موردنظر در دو مرحله (گلدهی و خورجین‌دهی) و با حجم محلول ۱۰۰۰ لیتر در هکتار انجام گرفت. به‌منظور جذب بهتر ماده توسط گیاه، عمل محلول‌پاشی در زمان غروب آفتاب انجام شد. سدیم‌نیتروپروساید از کمپانی Merck آلمان تهیه شد. قبل از شروع آزمایش از خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌هایی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و نمونه مرکب جهت تجزیه به آزمایشگاه تجزیه خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان ارسال شد. نتایج آزمون خاک در دو سال انجام آزمایش در جدول (۱) و اطلاعات هواشناسی در جدول (۲) ارائه شده است.

در این آزمایش از هیبرید فرانسوی (ES Neptue) استفاده شد. عملیات آماده‌سازی زمین به‌صورت معمول و شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین، در شهریورماه انجام شد و کوددهی براساس نتایج آزمون خاک انجام گرفت.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در دو سال زراعی

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (ds/m)	pH	کربن آلی (٪)	ازت کل (٪)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاس قابل جذب (ppm)	بافت خاک
سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤							
۳۰-۰	۰/٦۳	٦/۹	۰/۳٤	۰/۳٤	۵۳/۲	۲۳۷	لومی شنی
سال زراعی ۹٦-۱۳۹۵							
۳۰-۰	۰/۵۹	۷/۲	۰/۳۸	۰/۳۸	٦٤/٤	۲۲۵	لومی شنی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. اطلاعات هواشناسی ایستگاه تحقیقات اکباتان همدان در دو سال انجام آزمایش (۹۵-۱۳۹٤ و ۹٦-۱۳۹۵)

سال	ماه	میانگین بارندگی (mm)	میانگین دمای کمینه (°C)	میانگین دمای بیشینه (°C)
	مهر	۱/٤	۷/۸۹	۲٦/۰۰
	آبان	۸۹/٤	۳/۲٦	۱۳/٤۲
۱۳۹٤	آذر	۱۷/۸	-٤/۰۱	۵/۹۸
	دی	۱٤	-۳/۹۱	٦/۱٦
	بهمن	۳۳/۷	-٤/۷۹	۷/۷۱
	اسفند	۸/۲	۰/۰۸	۱٤/۹۲
	فروردین	۹٦/۳	۹/۵۵	۱۹/۱۹
	اردیبهشت	۲۰/٦	۱۷/۳۹	۲۹/۳۲
	خرداد	۱۰/۸	۲۱/۱۰	۳۳/۱۳
	مهر	۰	۳/۹۳	۲٤/۵۷
۱۳۹۵	آبان	۵/٦	۲/۲۹	۱۸/٦۲
	آذر	۱۳/۳	-۵/۵۲	۹/۰۰
	دی	۱٤	-۲/۷۸	۸/۸۹
	بهمن	٦٦/۹	-٤/۲۰	٦/۸۰
	اسفند	۷۲/۳	۲/۰۰-	۱۰/۲٤
	فروردین	٤۹/٤	٦/۱۰	۱۸/۱۹
	اردیبهشت	۲۲/۳	۱۱/۲٦	۲۵/٦۸
۱۳۹٦	خرداد	۰	۱٤/۹۷	۳۳/۰٦
	تیر	۱/۲	۱۸/۷۷	۳۵/۰۰

تمامی کود پتاس (سولفات پتاسیم) و یک سوم کود نیتروژن (اوره) در زمان آماده‌سازی زمین مصرف شد. یک سوم دیگر کود نیتروژن در مرحله‌ی خروج گیاه از روزت و یک‌سوم باقی‌مانده در زمان غنچه‌دهی کامل و قبل از آغاز گلدهی به‌صورت سرک مصرف شد. هر کرت آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و به طول شش متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت ۵ سانتی‌متر بود و کاشت به‌صورت دستی انجام گرفت. آبیاری در مراحل اولیه رشد برای تمام تیمارها به‌صورت یکنواخت انجام شد و از مرحله خورجین‌دهی رژیم‌های مختلف آبیاری اعمال شد.

۲. ۱. اندازه‌گیری محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها

برای اندازه‌گیری محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه، دو هفته پس از انجام محلول‌پاشی، در هر کرت آزمایشی با رعایت اثر حاشیه از گیاهان نمونه برگی تهیه شد و در نیتروژن مایع، فریز شد و بلافاصله به فریزر ٤۰- درجه سانتی‌گراد انتقال داده شد و تا زمان اندازه‌گیری رنگیزه‌ها در فریزر نگهداری گردید. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش Lichtenthaler & Wellburn (1983) استفاده شد. مطابق این روش، ۰/۱ گرم نمونه برگی در ازت مایع در داخل هاون سابیده و پودر گردید. سپس در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ و ۰/۰۱ گرم منیزیم کاملاً ساییده شدند و در فالکون ۱۵ میلی‌لیتر

www.SID.ir

Archive of SID

ریخته شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. سپس محلول رویی جمع‌آوری‌شده و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر UV-2100 (مدل s2100 suv NEW JERSEY کشور آمریکا) میزان جذب آن‌ها در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر قرائت شد.

با استفاده از روابط زیر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها محاسبه شد و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد. میزان کلروفیل کل از مجموع غلظت کلروفیل‌های a و b به‌دست آمد.

رابطه (۱)
$$Chl_a = 12.7\ (A_{663}) - 2.69\ (A_{645}) \times (V/(1000\times W))$$

رابطه (۲)
$$Chl_b = 22.9\ (A_{645}) - 4.68\ (A_{663}) \times (V/(1000\times W))$$

رابطه (۳)
$$Car = 7.6(A480) - 1.49(A510) \times (V/(1000\times W))$$

که در این روابط V حجم عصاره مصرف‌شده، W وزن نمونه و Chl_a، Chl_b و Car به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوییدها برحسب (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) می‌باشد.

۲. ۲. اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه

در پایان فصل رشد، با درنظرگرفتن اثر حاشیه سطحی معادل دو متر مربع از هر کرت برداشت شد و عملکرد و اجزای عملکرد دانه (تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه) تعیین شد.

۲. ۳. محاسبات آماری

پس از اطمینان از نرمال‌بودن داده‌ها تجزیه واریانس داده‌ها برای دو سال انجام آزمایش به‌طور مجزا انجام گرفت. در ادامه، آزمون یکنواختی واریانس خطا برای دو سال انجام آزمایش صورت گرفت و پس از اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه مرکب داده‌ها برای دو سال انجام گرفت. به‌منظور تجزیه آماری داده‌ها و مقایسات میانگین از نرم‌افزارهای آماری SAS (9.1) و MSTATC (1.1) استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارExcel (2010) انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. رنگیزه‌های فتوسنتزی

۳. ۱. ۱. محتوای کلروفیل a و b

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثرات اصلی سال، آبیاری و محلول‌پاشی محتوی کلروفیل a را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). محتوای کلروفیل b، به‌جز اثر متقابل سه‌گانه سال× آبیاری× محلول‌پاشی، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سایر منابع تغییر قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی نشان داد در شرایط کاربرد یا عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید، قطع آبیاری و کاهش دسترسی گیاه به آب باعث کاهش محتوای کلروفیل‌های a و b شد و در شرایطی که گیاه زودتر با تنش مواجه شد، تأثیر تنش بر مقادیر کلروفیل برگ محسوس‌تر بود (جدول ٤). نتایج نشان داد محتوای کلروفیل‌های a وb با افزایش غلظت محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در سطوح مختلف آبیاری افزایش پیدا کرد. به‌عبارت دیگر، در هر یک از سطوح آبیاری استفاده بیش‌تر از سدیم نیتروپروساید باعث افزایش در محتوای کلروفیل‌های a و b برگ گردید (جدول ٤).

هم‌چنین نتایج بیان‌گر آن است که بیش‌ترین محتوای کلروفیل‌های a و b در محلول‌پاشی با غلظت ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید حاصل گردید و کم‌ترین مقدار نیز در تمامی سطوح آبیاری در شرایط عدم کاربرد سدیم‌نیتروپروساید به‌دست آمد (جدول ٤).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. تجزیه مرکب محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا تحت تیمارهای مختلف آبیاری و محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید در دو سال آزمایش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوییدها	تعداد خورجین در بوته	وزن هزاردانه	تعداد دانه در خورجین	عملکرد دانه
سال	۱	۰/۲۲۱**	۰/۷۱۲**	٤/۳۹**	۰/۱٦٤**	۱۳٤٤/٤**	۲/٦٥*	۲٦/۱٦*	۳٤۷٥۸۷۳**
تکرار (سال)	٤	۰/۱۱۹	۰/۰۸۲	۰/٦٤٥	۰/۰۱۹	۲۱/۷	۰/۲٤	٤/۸۳	۱٦٦۷۱۷
محلول‌پاشی	۳	۰/۰۸۰**	۰/۱۷۲**	۱/۰۷۸**	۰/۰٤٦**	٦۹۸/۹**	۰/۱۹ ns	۱/۹۷ns	٤۳۸۹٦۸۰**
سال × محلول‌پاشی	۳	۰/۰۱۳ns	۰/۰۰۳**	۰/۰٤۰**	۰/۰۰٤**	۳۰/۳ns	۰/۲٦ns	۳/٥٦ns	۱۰۱۹۱ns
آبیاری	۲	۰/٤٤٥**	۰/۲۷۱**	۱/٦۲۸**	۰/۰۳۹**	٦۹٦/۱**	۰/۸۲**	۰/۳٥ns	۲۸۹٥۰۳۲**
سال × آبیاری	۲	۰/۰۰۲ns	۰/۰۰٦**	۰/۰۸۹**	۰/۰۰۰٤**	۹/۹ns	۰/۲۱ns	۰/۲٦ns	٤۳۰۹۷ns
آبیاری× محلول‌پاشی	٦	۰/۰۲۲ns	۰/۰۱٦**	۰/۰۹۲**	۰/۰۰۲**	٦۳/٤*	۰/۰٥ns	۰/٥۸ns	٥۰۹۸۱۸*
سال× آبیاری× محلول‌پاشی	٦	۰/۰۰٤ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲۲**	۰/۰۰۱**	۱/٦ns	۰/۰٤ns	۳/۸۷ns	۳۰۷۰۹ ns
خطا	٤٤	۰/۰۱٥	۰/۰۰۰٦	۰/۰۰٤	۰/۰۰۰۰۸	۲۷/۳	۰/۱٥	٥/۰۷	۲۰٦٦۹٦
ضریب تغییرات (٪)		۹/٥۷	٤/۳٥	٤/٤۹	۳/٤۱	۷/۹۹	۹/۷۱	۷/٦۹	۱۰/٤۱

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ٥ و ۱ درصد

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید و آبیاری بر مقادیر کلروفیل a و b، تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه کلزا

محلول‌پاشی	آبیاری	کلروفیل a (mg/g Fw)	کلروفیل b (mg/g Fw)	تعداد خورجین در بوته	عملکرد دانه (Kg/ha)
بدون محلول‌پاشی	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی	۱/۰۳۷ g	۰/۳۷۱i	٤۹/۹٥f	۳۳۹٦/۰ g
	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	۱/۲٥۷cde	۰/٤۷٦g	٥۸/۳۰de	۳۷٥۱/۹fg
	آبیاری کامل	۱/۳۲۳be	۰/٥٥۰f	٦٦/۰۱bc	٤۳۳۲/۹cde
محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی	۱/۱۰۲fg	۰/٤٤۰h	٥٥/٤۱ef	۳٦۱۲/۰fg
	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	۱/۳۲۷be	۰/٥۷۲f	٦۲/۷۰cd	٤۰٤۲/۷ef
	آبیاری کامل	۱/۳۲٤be	۰/٦٦۰d	٦۹/۷۳ab	٤٥۹۹/۹bcd
محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی	۱/۲۱۳def	۰/٤٦۲gh	٦۲/۹۰cd	٤۱۰۷/٥def
	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	۱/٤۰٦ab	۰/٦۹۳ c	۷۲/۰۸ab	٥۰۱٤/٥ab
	آبیاری کامل	۱/۳٥۷bcd	۰/٦۱۰ e	۷۲/٦۰a	٤۸۲۱/۳abc
محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار	قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی	۱/۱۹٥ef	۰/٥٥۰f	۷۰/۱۱ab	٤۷۷٥/۸abc
	قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	۱/۳۷۳abc	۰/۷۳٤b	۷۲/٥۱a	٤۹۸۸/۰ab
	آبیاری کامل	۱/٥۱٦a	۰/۸۲٥a	۷۲/۷٥a	٥۱۲۹/۰a

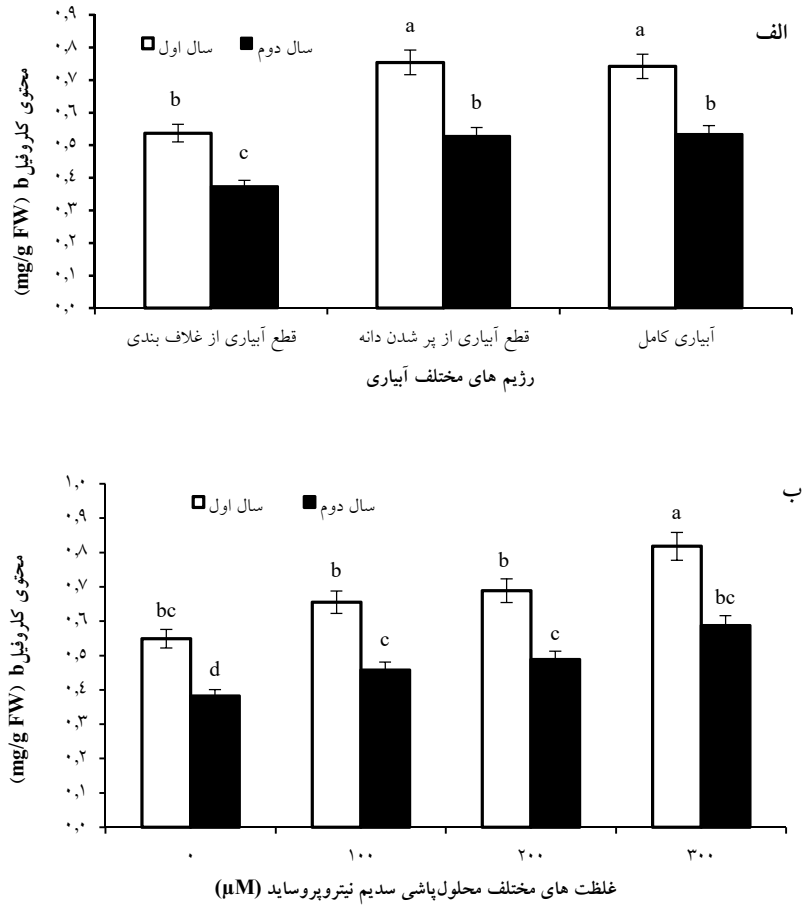
در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال ٥ درصد فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

دامنه تغییرات کلروفیل a بین ۱/۰۳۷ و ۱/۵۱٦ میلی‌گرم در گرم بافت تر و دامنه تغییرات کلروفیل b بین ۰/۸۲۵ الی ۰/۳۷۱ میلی‌گرم در گرم بافت تر بود (جدول ٤).

براساس نتایج جدول (۳)، درصد افزایش محتوای کلروفیل‌های a وb در مصرف ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید نسبت به عدم کاربرد آن به‌طور متوسط در تمام سطوح آبیاری به‌ترتیب برابر ۱۱/٤٦ و ۳۳/۸۵ درصد بود. کاربرد ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید توانست محتوی کلروفیل‌های a و b گیاه کلزا را به‌طور قابل‌توجهی بهبود بخشد، به‌طوری‌که محتوی کلروفیل در گیاهان تحت تنش قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی با مقادیر کلروفیل در گیاهان بدون محلول‌پاشی و آبیاری کامل در یک گروه آماری قرار گرفتند. در هر دو سال انجام آزمایش محتوی کلروفیل b در گیاهان تحت آبیاری کامل و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه (تنش متوسط) بیش‌تر از مقادیر این صفت در گیاهان تحت تیمار قطع آبیاری از مرحله شروع غلاف‌بندی بود (شکل ۱-الف). به‌عبارت دیگر، در هر دو سال انجام آزمایش با کاهش بیش‌تر دسترسی گیاه به آب، محتوی کلروفیل b در برگ کلزا کاهش پیدا کرد که این امر نشان‌دهنده اثر مخرب تنش خشکی بر کلروفیل b می‌باشد که به‌عنوان یک کلروفیل محافظت‌کننده در سلول‌های مزوفیل برگ نقش ایفا می‌کند.



شکل ۱. اثر تیمارهای مختلف آبیاری (الف) غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید (ب) بر محتوی کلروفیل b برگ کلزا در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ و ۹٦-۱۳۹۵ در شرایط آب و هوایی همدان

www.SID.ir

Archive of SID

براساس نتایج شکل (۱- ب) محتوی کلروفیل b با افزایش میزان کاربرد سدیم‌نیتروپروساید افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که در هر دو سال انجام آزمایش بیش‌ترین محتوای کلروفیل b در تیمار کاربرد ۳۰۰ میکرومولار به‌دست آمد و کم‌ترین محتوی کلروفیل b در تیمار عدم کاربرد سدیم‌نیتروپروساید حاصل شد (شکل ۱).

۲.۱.۳. کلروفیل کل و کاروتنوئیدها

کلروفیل کل و کاروتنوییدها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل قرار گرفتند (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر سه‌گانه سال× محلول‌پاشی× آبیاری (جدول ۵)، در هر دو سال انجام آزمایش قطع آبیاری در گیاه کلزا باعث کاهش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید گیاه شد، اگرچه این کاهش در تیمار قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی بیش‌تر بود. کاربرد سدیم‌نیتروپروساید در شرایط تنش و عدم تنش کمبود آب باعث افزایش محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئیدها گردید. با افزایش غلظت سدیم‌نیتروپروساید محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در هر دو سال انجام آزمایش در تمامی سطوح آبیاری افزایش پیدا کرد. در واقع می‌توان اظهار داشت در هر دو سال انجام آزمایش، افزایش کاربرد سدیم‌نیتروپروساید به مقدار ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار باعث افزایش محتوای کلروفیل کل و کاروتنویید برگ کلزا شد، که این امر در تمام سطوح آبیاری صادق بود (جدول ۵). بنابراین، در هر دو سال انجام آزمایش، بیش‌ترین محتوی کلروفیل کل و کاروتنوییدها در هنگام محلول‌پاشی گیاه با غلظت ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید حاصل گردید و کم‌ترین محتوی کلروفیل کل و کاروتنوییدها در تمامی سطوح آبیاری در تیمار عدم کاربرد سدیم‌نیتروپروساید به‌دست آمد (جدول ۵).

به‌طوری‌که، در جدول (٤) ملاحظه می‌شود در هر دو سال انجام آزمایش محلول‌پاشی گیاه با ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید باعث افزایش قابل‌توجه محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل کل و کاروتنوئید در گیاه کلزا گردید و این افزایش به اندازه‌ای بود که محتوای این رنگیزه‌ها در گیاهان تحت شرایط قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی با مقادیر این صفات در گیاهان بدون محلول‌پاشی که در طول فصل رشد به‌طور کامل آبیاری شده بودند، به لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. دامنه تغییرات کلروفیل کل در تمام تیمارهای آزمایش بین ۰/۷۱۷ الی ۲/۰۸٤ میلی‌گرم در گرم بافت تر و دامنه تغییرات کاروتنوئیدها در دو سال آزمایش و سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی بین ۰/۱٤۲ و ۰/٤٥٦ میلی‌گرم در گرم بافت تر بود. به‌طور کلی براساس نتایج مقایسه میانگین، محتوای کلروفیل کل و کاروتنویید کلزا در سال اول آزمایش بیش‌تر از سال دوم آزمایش بود (جدول ۵).

براساس نظر پژوهش‌گران تنش خشکی با اثرات مخرب خود ابتدا بر فرایندهای فیزیولوژیک گیاهان اثر می‌گذارد و سپس باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Leshem *et al*., 2017). در گزارش‌های پیشین علت اصلی کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی طی تنش‌های محیطی دو عامل معرفی شده است، عامل اول که مهم‌تر نیز می‌باشد تخریب ساختار رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌وسیله گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) است و عامل دوم عدم سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش‌های محیطی می‌باشد که باعث کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Leshem *et al*., 2017). در ارتباط با تأثیر مثبت سدیم نیتروپروساید بر بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌توان اظهار داشت سدیم نیتروپروساید یک ترکیب رهاکننده اکسید نیتریک است، اکسیدنیتریک خود یک گونه فعال نیتروژن است که

www.SID.ir

Archive of SID

می‌تواند به‌عنوان یک عامل آنتی‌اکسیدان، گونه‌های اکسیژن فعال را جمع‌آوری کند و از بین ببرد (Asadi Sanam *et al*., 2014). رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش سبب شکستن رنگیزه‌ها و پروتئین‌های دستگاه فتوسنتز می‌شوند و احتمالاً نیتریک اکسید با اثر رابیندگی گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش، موجب بهبود محتوای کلروفیل در گیاه می‌شود (Laspina *et al*., 2005). در پژوهشی مشخص شد که پیش‌تیمار گیاه با غلظت‌های ۱۰۰ میکرومولار یا کمتر سدیم‌نیتروپروساید می‌تواند از طریق تداخل با گونه‌های اکسیژن فعال یا القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نقش حفاظتی در برابر خشکی داشته باشد (Nasibi & Kalantari, 2010).

هم‌چنین بررسی تأثیر محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان داد که محلول‌پاشی با هر دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید محتوای کلروفیل a و b را افزایش داد (Arab *et al*., 2015). در مطالعه‌ای دیگر، پژوهش‌گران پی بردند که کاربرد مقدار ۰/۱ میلی‌مول سدیم‌نیتروپروساید، پیری برگ‌های گوجه‌فرنگی را با جلوگیری از تخریب کلروفیل و پروتئین‌های محلول به‌ویژه، روبیسکو به تأخیر انداخت (Shehab *et al*., 2010). کاربرد سدیم نیتروپروساید با رهاسازی نیتریک اکسید در گیاه باعث افزایش فعالیت H^+-ATPase غشا می‌شود و از این طریق جذب یون‌های معدنی توسط ریشه و در نتیجه تغذیه گیاه را بهبود می‌بخشد (Palmgren & Harper, 1999) و این امر می‌تواند در بهبود سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه مؤثر باشد. در مطالعه‌ای اثر سدیم‌نیتروپروساید بر برخی عوامل فیزیولوژیکی گیاه کلزا تحت شرایط تنش خشکی موردبررسی قرار گرفت (Nikravesh *et al*., 2016)، این پژوهش نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش محتوی کلروفیل a و b، محتوی نسبی آب برگ، کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه شد. در بین غلظت‌های مختلف کاربرد سدیم‌نیتروپروساید، مصرف ۲۵ میکرومولار از این ماده مقادیر پرولین، کلروفیل‌های a و b، قندهای محلول، آنتوسیانین، فلاونوئیدها، فنول کل و عملکرد کلزا را تحت تنش خشکی افزایش داد. در پژوهش حاضر نیز تنش خشکی باعث کاهش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه کلزا شد و محلول‌پاشی گیاه با سدیم نیتروپروساید اثرات مخرب تنش خشکی بر کاهش محتوی کلروفیل گیاه را تعدیل نمود (جدول‌های ۳ و ٤).

۲.۳. عملکرد و اجزای عملکرد دانه

۱.۲.۳. تعداد خورجین در بوته

براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها، اثر سال، محلول‌پاشی، آبیاری و اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود.

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی (جدول ٤) با بروز تنش خشکی و افزایش شدت آن تعداد خورجین در بوته در تمام سطوح محلول‌پاشی کاهش پیدا کرد. به بیان دیگر، در تمام سطوح محلول‌پاشی بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته به تیمار آبیاری کامل تعلق داشت و کم‌ترین تعداد خورجین در بوته در تیمار قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی به‌دست آمد.

هم‌چنین نتایج نشان داد با کاربرد سدیم‌نیتروپروساید و افزایش غلظت محلول‌پاشی این ماده روی گیاه در تمام سطوح آبیاری تعداد خورجین در بوته کلزا افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید تعداد خورجین در بوته در تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری از شروع پرشدن دانه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و حتی محلول‌پاشی گیاه با غلظت ۳۰۰ میکرومولار این ماده در هر دو تیمار قطع

www.SID.ir

Archive of SID

آبیاری، باعث افزایش چشم‌گیر تعداد خورجین در بوته در مقایسه با تیمار آبیاری کامل در شرایط عدم محلول‌پاشی گیاه با سدیم‌نیتروپروساید شد. در تیمارهای بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار، بین سطوح قطع آبیاری از شروع خورجین‌دهی، قطع آبیاری از شروع پرشدن دانه و آبیاری کامل از نظر تعداد خورجین در بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ٤). مطالعات حاکی از آن است که تعداد خورجین در بوته مهم‌ترین جزو عملکرد دانه در گیاهان دارای خورجین می‌باشد و اصلی‌ترین نقش را در تغییرات عملکرد دانه دارد (Zinali *et al*., 2015).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سال× محلول‌پاشی× آبیاری بر محتوی کلروفیل کل و کاروتنویید برگ کلزا

سال	محلول‌پاشی	آبیاری	کاروتنوییدها (mg/g. Fw)	کلروفیل کل (mg/g. Fw)
اول	بدون محلول‌پاشی	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۲۰۳l	۰/۹۵۹ l
		قطع آبیاری در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۲٦٤fg	۱/۳۵۵gh
		آبیاری کامل	۰/۳۰٤e	۱/۵٦۵d
	محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۲٤۳hi	۱/۲٦۱hi
		قطع آبیاری در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۳۱٦e	۱/٦۲۷d
		آبیاری کامل	۰/۳٦۵c	۱/۸۷۷c
	محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۲۵٦gh	۱/٤۰۲fg
		قطع آبیاری در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۳۰٤e	۲/۰۸٤b
		عدم قطع آبیاری	۰/۳۳۳d	۱/۸۰٦c
	محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۳۸٤b	۱/۵٦۵de
		قطع آبیاری در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/٤۵٦a	۱/۳۷۰a
		آبیاری کامل	۰/۳۹٤b	۲/۰۲۱b
دوم	بدون محلول‌پاشی	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۱٤۲n	۰/۷۱۷m
		قطع آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه	۰/۱۸٤m	۰/۹۱۹l
		آبیاری کامل	۰/۲۱۳kl	۱/۱۱٤jk
	محلول‌پاشی ۱۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۱۷۰m	۰/۸۹٤l
		قطع آبیاری در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۲۲۱jk	۱/۱۳۹ij
		آبیاری کامل	۰/۲۵۵fg	۱/۳۱٤gh
	محلول‌پاشی ۲۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۱۷۹m	۰/۹۹۳kl
		قطع آبیاری در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۲٦۹fg	۱/۲٦۵hi
		آبیاری کامل	۰/۲۳۵ij	۱/٤۵۹ef
	محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌پتروپروساید	قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی	۰/۲۱۳kl	۱/۰۹۰jk
		قطع آبیاری در مرحله شروع پرشدن دانه	۰/۳۱۹de	۱/٦٤۳d
		آبیاری کامل	۰/۲۷٦fg	۱/٤۱٤fg

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

۲.۲.۳. وزن هزاردانه

در مورد وزن هزاردانه، اثرات اصلی سال و آبیاری معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر وزن هزاردانه کلزا نشان داد قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی و شروع پرشدن دانه باعث کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه کلزا نسبت به حالت آبیاری کامل گردید و به‌عبارت دیگر، وقوع تنش خشکی اثر مستقیم بر وزن هزاردانه کلزا داشت (جدول٦).

جدول ٦. مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر وزن هزاردانه کلزا

آبیاری	وزن هزاردانه (g)
قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی	۳/۸۷b
قطع آبیاری از مرحله شروع پر شدن دانه	۳/۹٦b
آبیاری کامل	٤/۲۳a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می‌باشند.

۳.۲.۳. تعداد دانه در خورجین

در مورد تعداد دانه در خورجین تنها اثر سال معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج این آزمایش نشان داد هیچ‌کدام از فاکتورهای موردبررسی در این آزمایش به‌جز فاکتور سال اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در خورجین کلزا نداشت. به این معنی که یا این صفت کاملاً تابع خصوصیات ژنتیکی گیاه می‌باشد و یا این‌که آغازه‌ها یا پرایموردیاهای تعداد دانه در خورجین قبل از اعمال تیمارها تعیین شده بود و تحت تأثیر تیمارهای اعمال‌شده قرار نگرفت (جدول ٤). در پژوهشی دیگر نیز کاربرد سدیم‌نیتروپروساید سبب بهبود اجزای عملکرد دانه (تعداد دانه در بلال و وزن هزاردانه) در ذرت تحت تنش خشکی شد (Hao *et al*., 2008). از طرف دیگر، پژوهش‌گران در گیاه نخود گزارش کردند کاربرد سدیم‌نیتروپروساید باعث بهبود اجزای عملکرد و عملکرد دانه نخود شد (Ganjewala *et al*., 2008).

٤.۲.۳. عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها، اثر سال، محلول‌پاشی، آبیاری و اثر متقابل محلول‌پاشی و آبیاری بر عملکرد دانه کلزا معنی‌دار بود. نتایج آزمایش نشان داد که وقوع تنش خشکی در مرحله رشد زایشی به‌ویژه در شرایط قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی باعث کاهش چشمگیر عملکرد دانه گیاه کلزا شد (جدول ٤).

کاربرد سدیم‌نیتروپروساید باعث افزایش عملکرد دانه کلزا در تمامی سطوح آبیاری شد، به‌گونه‌ای که در سطوح مختلف آبیاری، بیش‌ترین عملکرد دانه در کاربرد ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید حاصل شد. نتایج جدول (٤) نشان داد در شرایط عدم کاربرد سدیم‌نیتروپروساید و هم‌چنین در کاربرد ۱۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید، به لحاظ عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری کامل با قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی و شروع پرشدن دانه وجود داشت. با کاربرد ۲۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید بین عملکرد دانه کلزا در شرایط آبیاری کامل با گیاهان تحت تیمار قطع آبیاری از مرحله شروع پرشدن دانه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما بین تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله شروع خورجین‌دهی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ٤). در شرایط کاربرد ۳۰۰ میکرومولار سدیم‌نیتروپروساید به‌لحاظ عملکرد دانه بین سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد. به‌عبارت بهتر، کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش خشکی باعث کاهش اثر تنش شد و با افزایش کاربرد آن تعدیل اثر تنش به‌طور محسوس‌تری ظاهر شد به‌طوری‌که در محلول‌پاشی گیاه با غلظت ۳۰۰ میکرومولار

www.SID.ir

Archive of SID

سدیم‌نیتروپروساید بین تیمارهای تنش و عدم تنش خشکی تفاوت چشم‌گیری ملاحظه نشد.

براساس نتایج جدول (٤)، درصد افزایش عملکرد دانه کلزا در هنگام کاربرد ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید نسبت به حالت شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) برای متوسط مقادیر تمام سطوح آبیاری (آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله شروع خورجین‌دهی و شروع پرشدن دانه) برابر ۲۳/۰۱ درصد بود. پژوهش‌گران بیان کرده‌اند کاربرد سدیم‌نیتروپروساید به‌دلیل کارکردهای مطلوبی که در گیاه دارد از جمله افزایش دوام سطح برگ، افزایش حداکثر شاخص سطح برگ، باز نگه داشتن روزنه‌ها، حفظ رنگیزه‌ها و پروتئین‌های دستگاه فتوسنتزی (Laspina *et al*., 2005) و در نهایت بهبود فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Sheokand *et al*., 2010). در همین رابطه در بررسی اثر سدیم‌نیتروپروساید بر رشد و عملکرد کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) تحت شرایط کم آبیاری مشخص شد که با تأخیر در آبیاری عملکرد کاهش یافت، اما کاربرد سدیم‌نیتروپروساید توانست اثرات منفی خشکی را کاهش دهد، به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و وزن میوه از کاربرد ۱۰۰ میکرومولار این تیمار حاصل شد (Yadollahi & Asgharpour, 2014).

در آزمایشی دیگر، کاربرد سدیم نیتروپروساید سبب افزایش تعداد دانه، وزن هزاردانه و در نتیجه عملکرد دانه ذرت تحت تنش خشکی شد (Hao *et al*., 2008). نتایج آزمایش حاضر نیز نشان داد سدیم‌نیتروپروساید بر تولید و حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نتیجه، بهبود فتوسنتز در شرایط کمبود آب تأثیر مثبت داشت و از این طریق باعث افزایش تعداد خورجین در بوته به‌عنوان مهم‌ترین جزو عملکرد دانه و به تبع آن بهبود عملکرد دانه کلزا شد (جدول٤). تأثیرات بهبود بخش کاربرد سدیم‌نیتروپروساید در افزایش عملکرد دانه گندم تحت تنش اسمزی (Lei *et al*., 2007) و تحت تنش خشکی (Sheokand *et al*., 2010)، در نخودفرنگی تحت تنش شوری (Tian & Lei, 2007)، در نخود تحت تنش کادمیوم (Kumari *et al*., 2010) و در برنج تحت تنش خشکی (Farooq *et al*., 2009) نیز گزارش شده است. عملکرد دانه مهم‌ترین صفت در گیاهان زراعی دانه‌ای می‌باشد که تمام تلاش‌های پژوهش‌گران کشاورزی در راستای افزایش آن با درنظرگرفتن مسائل زیست‌محیطی می‌باشد (Galashi, 2015).

۳. ۳. همبستگی صفات

عملکرد دانه بیش‌ترین همبستگی را با صفات تعداد خورجین در بوته، کلروفیل b و کلروفیل کل داشت که به‌ترتیب برابر ۰/۷۸، ۰/٦٦ و ۰/٦٥ بود. کم‌ترین همبستگی عملکرد دانه (۰/٤٨)، با وزن هزاردانه مشاهده شد. کم‌بودن همبستگی عملکرد دانه با وزن هزاردانه به احتمال زیاد به‌دلیل افزایش تعداد خورجین در بوته می‌باشد که باعث شده رابطه عملکرد دانه با وزن هزاردانه کاهش یابد (جدول۷). در بین صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده بیش‌ترین همبستگی، بین کلروفیل کل و کلروفیل b وجود داشت که برابر ۰/۹۷ بود، کم‌ترین همبستگی نیز بین وزن هزاردانه و محتوای کاروتنوئید گیاه مشاهده شد (جدول ۷).

در شکل (۲) رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه کلزا و صفاتی که بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند (جدول ۷) آورده شده است. شکل مذکور نشان می‌دهد بین عملکرد دانه با تعداد خورجین در بوته، محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل رابطه خطی، مستقیم و معنی‌داری وجود داشت. نتایج آزمایش بیانگر آن است که به‌ازای افزایش یک خورجین در بوته ٦٨/٦ کیلوگرم در هکتار به عملکرد دانه کلزا اضافه خواهد شد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد افزایش کلروفیل b و کلروفیل کل به مقدار یک میلی‌گرم در گرم

www.SID.ir

Archive of SID

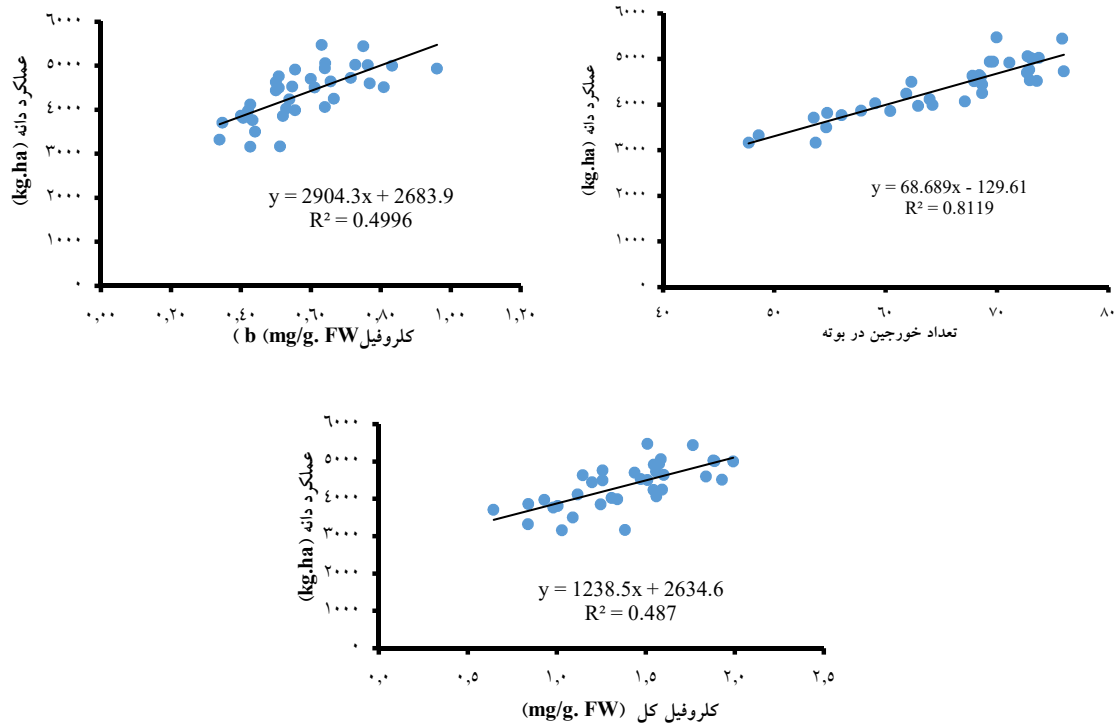
بافت تر، عملکرد دانه را به میزان ۲۹۰۴/۳ و ۱۲۳۸/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد داد (شکل ۲). در واقع می‌توان اظهار داشت افزایش در محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه باعث افزایش میزان فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌شود و به‌دنبال آن، اجزای عملکرد دانه و در نهایت عملکرد دانه کلزا افزایش می‌یابد.

پژوهش‌گران در مطالعه‌ای گزارش کردند کاربرد سدیم‌نیتروپروساید به‌صورت محلول‌پاشی سبب افزایش حداکثر شاخص سطح برگ و هم‌چنین دوام شاخص سطح برگ نخود شد و این پژوهش‌گران افزایش دوام سطح برگ را به افزایش حفاظت از رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت دادند که موجب افزایش کارایی مصرف آب شد.

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده تحت تیمارهای آبیاری و غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید در کلزا

صفات	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	کلروفیل b	کلروفیل a	وزن هزار دانه	تعداد خورجین در بوته	عملکرد دانه
کلروفیل کل	۱						
کاروتنوییدها	۰/۹۳**	۱					
کلروفیل b	۰/۹۷**	۰/۹۵**	۱				
کلروفیل a	۰/۷٤**	۰/٦۸**	۰/۷٤**	۱			
وزن هزار دانه	۰/۳۳*	ns۰/۱٦	۰/۳۳*	۰/۳٤*	۱		
تعداد خورجین در بوته	۰/۷۲**	۰/۷٤**	۰/۷٤**	۰/۵۹**	۰/٤٤**	۱	
عملکرد دانه	۰/٦۵**	۰/٦٤**	۰/٦٦**	۰/۵۲**	۰/٤۸**	۰/۷۸**	۱

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۲. رابطه رگرسیونی عملکرد دانه با صفات تعداد خورجین در بوته، محتوای کلروفیل‌های b و کل در گیاه کلزا تحت تیمارهای مختلف آبیاری و غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید

www.SID.ir

Archive of SID

از سوی دیگر مادهٔ مذکور موجب بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش شد که این امر نیز به افزایش کارایی مصرف آب در جهت تولید دانه منجر گردید (Sheokand *et al.*, 2010). کاربرد سدیم‌نیتروپروساید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و میزان آب نسبی را در برگ‌های گندم که در معرض تنش خشکی قرار گرفته بودند افزایش داد (Tan *et al.*, 2008)، که این امر باعث افزایش محتوای کلروفیل a نسبت به تیمارهای عدم کاربرد سدیم‌نیتروپروساید شد. این پژوهش‌گران بیان کردند اثرات مثبت سدیم‌نیتروپروساید در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه گندم از طریق افزایش سبزمانی شد.

٤. نتیجه‌گیری

تنش خشکی بر مقادیر رنگیزه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه کلزا تأثیر منفی داشت، به‌طوری‌که با بروز تنش خشکی و افزایش شدت آن صفات اندازه‌گیری‌شده به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. از طرف دیگر، کاربرد سدیم‌نیتروپروساید باعث شد اثرات مخرب تنش خشکی کاهش پیدا کند. با محلول‌پاشی سدیم‌نیتروپروساید رنگیزه‌های فتوسنتزی، اجزای عملکرد دانه و عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش خشکی افزایش پیدا کردند. بیش‌ترین مقادیر کلروفیل‌های a، b و کل، تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی ۳۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به‌دست آمد و کاربرد این غلظت سدیم‌نیتروپروساید مقادیر صفات ذکرشده را به‌طور قابل‌توجهی بهبود بخشید به گونه‌ای که مقادیر این صفات در گیاهان تحت تنش خشکی با گیاهان بدون محلول‌پاشی تحت شرایط آبیاری کامل برابر و حتی در مورد تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری برتری داشت. هم‌چنین، همبستگی بین رنگیزه‌های فتوسنتزی و اجزای عملکرد با عملکرد دانه به‌عنوان مهم‌ترین صفت موردمطالعه بسیار بالا و معنی‌دار بود، به‌صورتی‌که بیش‌ترین همبستگی عملکرد دانه با تعداد خورجین در بوته، کلروفیل b و کلروفیل کل بود، که به‌ترتیب برابر ۰/۷۸، ۰/٦٦ و ۰/٦٤ به‌دست آمد. رابطه رگرسیونی عملکرد دانه با محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی و اجزای عملکرد دانه خطی، صعودی و معنی‌دار بود.

٥. تشکر وقدردانی

از تمامی همکارانی که در مرکز تحقیقات کشاورزی همدان و دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان ما را یاری کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٧. منابع

Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M., & Asgharipour, M. (2015). The effect of ascorbic acid and sodium nitro prusside sprayed on photosynthetic pigments and some traits of safflower in terms of deficit irrigation. *Journal agriculture of Plant Production, 38*(4), 14-25. (In Persian)

Asadi Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., & Hashempour, A. (2014). The effect of sodium nitroprusside (SNP) on some biochemical properties of barley seedlings in salinity. *Journal of Plant Production Research*, *21*(3), 19-32. (In Persian).

Barthet, V. J. (2016). Canola: Overview. Reference Module in Food Science. Reviewed 8 January 2016. 5p.

Del Rio, L.A., Corpas, F.J., & Barroso, J.B. (2004). Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. *Photochemistry*, *65*, 783-792.

Divito, G. A., & Sadras, V. O. (2014). How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes A meta-analysis. *Field Crops Research*, *156*, 161-171.

Dolatabadian, A., Modares Sanavy, A.M., & Asilan, K. (2009). Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, *2*(3), 45-50.

www.SID.ir

Archive of SID

Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., & Rehman, H. (2009). Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.) *Journal of Agronomy and Crop Science*, *195*, 254-261.

Galashi, S. (2015). Effect of environmental stresses on plants (drought-salinity-heat-flood). *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 388 p. (In Persian)

Ganjewala, D., Boba, S., & Raghavendra, A.S. (2008). Sodium nitroprusside affects the level of anthocyanin and flavonol glycosides in pea (*Pisum sativum* L. cv. *Arkel*) leaves. *Acta Biologica. Szegediensis*, *52*, 301-305.

Gerzhova, A., Mondor, M., Benali, M., & Aider, M. (2016). Study of total dry matter and protein extraction from canola meal as affected by the pH, salt addition and use of zetapotential/ turbidimetry analysis to optimize the extraction conditions. *Food Chemistry*, *201*, 243-252.

Gul, H., Ahmad, R., Hamayun, M., Sayyed, A., Qasim, M., & Shabeena, S. (2014). Growth performance of canola grown under different salinity regimes. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, *8*(4), 59-68.

Hao, G.P., Xing, Y., & Zhang, J.H. (2008). Role of Nitric Oxide Dependence on Nitric Oxide Synthase-like Activity in the water stress signaling of maize seedling. *Integrative Plant Biology*, *50*(4), 435-442

Kafi, M., & Mahdavi Damghani, A. (2016). Mechanisms of plant resistance to environmental stresses. *Ferdowsi University of Mashhad Publications*, 468 p. (In Persian)

Kumari, A., Sheokand, A., & Kumari, S. (2010). Nitric oxide induced alleviation of toxic effects of short term and long term Cd stress on growth, oxidative metabolism and Cd accumulation in Chickpea. *Brazilian Society of Plant Physiology, 22*(4), 271-284.

Laspina, N.V., Groppa, M.D., Tomaro, M.L. and Benavides, M.P. (2005). Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd induced oxidative stress. *Journal of Plant Sciences*, *169*, 323-330.

Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2012). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plants, Cell and Environment*, *25*, 275-294.

Lei, Y., Yin, C., Ren, J., & Li, C. (2007). Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, *51*(2), 386-390.

Leshem, Y.Y., Haramaty, E., Liuz, D., Mali, K.Z., Safer, Y., & Riotman, L. (2017). Effect of stress nitric oxide: interaction between cholorophyll florescence, galactolipid fluidity and lipoxygenase activity. *Plant Physiology and Biochemistry, 35*, 573-579.

Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *1*, 591-592.

Malekotti, M.J., Keshavarz, P., Saadat, S., & Khulberin, b. (2005). Plant nutrition under saline conditions. *Senate Publications. Tehran*, 269 p. (In Persian)

Mohsenzadeh, M., Samiezadeh, H., & Hasani, H. (2016). Evaluation of Glycol Peroxidase Activity in Canola Genotypes under Stress and Non-Osmotic Stress Conditions. *Iranian Crop Sciences*, *48* (1), 71-80. (In Persian)

Nasibi, F., & Kalantari, K. M. (2010). Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. *Acta Physiology Plant, 31*, 1037-1044.

Neill, S., Barros, R., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrisan, J., Morris, P., Ribeiro, D., & Wilson, I. (2008). Nitric oxide, stomatal closure, and abiotic stress. *Journal of Experimental Botany*, *59*,165-176.

Nikravesh, M., Khldbryn, B., Nejadsattari, I., & Najafi, F. (2016). Effect of sodium nitroprusside on some physiological factors of rapeseed under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology, 29*(3), 88-102. (In Persian)

Palmgren, M. G., & Harper, J. F. (1999) Pumping with plant P-type ATPases. *Journal of Experimental Botany*, *50*, 883-893.

Shehab, G.G., Ahmad, O.K., & EL- Beltagi, H.S. (2010). Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, *38*(1), 130-148.

Sheokand, S., Bhankar, V., & Sawhney, V. (2010). Ameliorative effect of exogenous nitric oxide on oxidative metabolism in NaCl treated chickpea plants. *Brazilian society of plant Physiology*, *22*(2), 81-90.

Tan, J., Zhao, H., Y. Hong, Y., Li, H., & Zhao, W. (2008). Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedling subjected to osmotic stress. *World Journal of Agricultural Sciences*, *4*, 307-313.

www.SID.ir

Archive of SID

Tian, X.R. and Lei, Y.B. (2007). Physiological Responses of wheat Seedling to Drought and UV-B Radiation. Effect of exogenous Sodium Nitroprusside Application. *Plant Physiology*, *54*(5), 763-769.

Yadollahi, P., & Asgharpour, M.R. (2014). The effect of sodium nitroprusside and ascorbic acid on the growth, morphological characteristics and performance parchment pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under irrigated conditions. *Journal of Crop*, *6*(2), 29-45. (In Persian)

Zinali, A., Kianbakht, M., Siahmargui, A., Sheikh, F., & Pouri, Gh. (2015). Influence of planting date on yield and yield components of seed and green pod of three bean cultivars in Gorgan. *Journal of Crop Production*, *8*(1), 119-99. (In Persian)

www.SID.ir