

اثر سدیم نیترو پروساید و کربنات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی کنجد در شرایط تنش

شوری

علیرضا فتحی*^۱، مهدی برادران فیروزآبادی^۲، محمدرضا عامریان^۳ و منوچهر قلی‌پور^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

(۲،۳،۴) دانشیار گروه زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

* نویسنده مسئول: Alireza.fathi.af@gmail.com

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۱۶

چکیده

با هدف بررسی نقش کلسیم و سدیم نیتروپروساید بر کاهش اثرات مخرب تنش شوری این آزمایش به صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط مزرعه‌ای اجرا شد. فاکتور اصلی شامل دو سطح شوری (آبیاری با آب معمولی و آب شور) و فاکتورهای فرعی شامل سدیم نیتروپروساید در چهار سطح (صفر، پیش تیمار بذر، محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار و پیش تیمار بذر + محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار) و محلول‌پاشی کلسیم در سه سطح (صفر، کربنات کلسیم به شکل معمول و به شکل نانو با غلظت چهار در هزار) در سه تکرار بود. نتایج نشان داد که تنش شوری سبب کاهش ظرفیت فتوسنتزی و میزان کلروفیل برگ شد. به طوری که میزان کلروفیل کل در شرایط تنش ۷۲ درصد کاهش را نسبت به شرایط نرمال نشان داد. استفاده از تیمارهای سدیم نیتروپروساید اثر مطلوبی در افزایش سطح کلروفیل داشت. در بین تیمارهای این ماده کاربرد پیش تیمار به علاوه محلول‌پاشی بیشترین اثر مثبت را بر مقدار کلروفیل برجای گذاشت. همچنین تنش شوری باعث کاهش نسبت کلروفیل a/b شد. استفاده از تیمارهای کلسیمی باعث افزایش هر دو نوع کلروفیل a و b شد. اعمال تنش شوری سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان سدیم برگ شد به گونه‌ای که برای مثال مقدار سدیم موجود در برگ از ۶/۴ میلی‌گرم در شرایط نرمال به ۲۲/۷ میلی‌گرم در شرایط اعمال تنش شوری افزایش یافت. همچنین آزمون مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با اعمال تنش شوری از میزان روغن کنجد کاسته و بر میزان پروتئین دانه افزوده می‌شود. به طوری که مقدار روغن در شرایط تنش ۲/۲ درصد کاهش و میزان پروتئین ۳/۴ درصد افزایش را نسبت به شرایط نرمال نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: پیش تیمار بذر، پروتئین دانه، روغن دانه و محلول‌پاشی.

مقدمه

کنجد با نام علمی (*Sesamum indicum* L.) گیاهی یکساله و محصول نواحی گرم و خشک و نیمه‌خشک است (Sirato Yasumoto *et al.*, 2001). مهم‌ترین کاربرد دانه کنگد، استخراج روغن از آن است. این گیاه در نواحی مختلف ایران کشت و کار می‌شود (Cicek and Cakirlar, 2002). شور شدن زمین‌های کشاورزی به‌علت روش‌های فشرده خاک‌ورزی و آبیاری یکی از فاکتورهای مهم در کم شدن عملکرد و تولید محصولات زراعی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه-خشک می‌باشد. در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک مشکل شوری به‌علت کمبود بارندگی، دمای بالا و سرعت تبخیر بالا تشدید می‌شود (Fernandes *et al.*, 2017). تنش شوری در گیاهانی به‌وجود می‌آید که در خاک‌هایی که دارای املاح زیاد هستند رشد می‌کنند. شوری در این خاک‌ها به‌دلیل آبیاری با آب شور، عدم وجود بارندگی کافی در این مناطق به‌منظور شستشوی نمک‌های تجمع یافته در لایه سطحی خاک، وجود مواد مادری و رسوبات بادی شور، زهکشی ضعیف و صعود موئینگی آب از سفره آب زیرزمینی شور نزدیک به سطح زمین که باعث تجمع املاح در سطح خاک می‌شود، به وجود می‌آید (Cicek and Cakirlar, 2002). شوری به‌طور غیر مستقیم نیز رشد گیاهان را تحت اثر قرار می‌دهد. در غلظت‌های بالای نمک، رقابتی از لحاظ میزان جذب بین یون‌های نمک (Na^+ و Cl^-) و دیگر عناصر غذایی از قبیل کلسیم، پتاسیم، نیتروژن و فسفر روی می‌دهد که باعث کاهش کارایی در جذب عناصر غذایی و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود. در این میان جذب نیتروژن بیش‌تر از سایر عناصر تحت اثر قرار می‌گیرد (Bahrami and Razmjo, 2012). کاهش فشار تورژانس داخل سلول به‌علت تجمع املاح و جذب توسط املاح باعث ممانعت از تقسیم و طویل شدن سلول‌ها و بسته شدن روزنه‌ها در ژنوتیپ‌های حساس می‌شود. مقاومت به شوری غالباً به پیچیدگی‌های فیزیولوژیکی و ساختاری گیاهان بستگی دارد. عواملی نظیر گونه گیاهی، شرایط محیطی، نوع نمک‌های محلول خاک و هم‌چنین مرحله رشد و رقم گیاه روی تحمل و مقاومت گیاه در برابر شوری اثرگذار می‌باشد (Oncel *et al.*, 2000). سدیم‌نیتروپروساید (SNP) یک ترکیب رها کننده نیتریک‌اکسید است که در حالت محلول به شدت به نور حساس بوده و تجزیه آن توسط اکسیژن و دمای زیاد تسریع می‌شود (Wieczorek *et al.*, 2006). رهاسازی نیتریک‌اکسید، نیازمند تابش نور یا احیای آن توسط عوامل کاهنده، مثل اسید آسکوربیک، تیول‌ها و هموپروتئین‌هایی نظیر NADH و NADPH است. نیتریک‌اکسید یک رادیکال آزاد گازی شکل است که نیمه عمر آن در سیستم‌های بیولوژیکی ۳ تا ۵ ثانیه می‌باشد (Durner and Klessig, 1999) و مولکولی دو اتمی است که قابلیت انتشار بالایی دارد (۱۰ - ۵ سانتی‌متر مربع در ثانیه در آب) و در گیاهان توسط مسیرهای آنزیمی و غیر آنزیمی تولید می‌شود (Wieczorek *et al.*, 2006). نیتریک‌اکسید یک مولکول مهم است که در بافت‌های زیادی، فرآیندهای فیزیولوژیکی را تنظیم می‌کند و در همه گیاهان وجود دارد. این ترکیب گاز مانند به‌عنوان یک سیگنال

بزرگ در فعالیتهای فیزیولوژیکی پدیدار می‌شود. تحقیقاتی روی نیتریک‌اکسید در گیاهان در سال‌های اخیر انجام شده است و نشان‌دهنده این است که این مولکول یک سیگنال کلیدی در گیاهان است (Del Rio *et al.*, 2004). نیتریک‌اکسید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است. در ابتدا این گاز به‌عنوان آلوده‌کننده محیطی مورد توجه قرار گرفت؛ هر چند بررسی‌های اخیر نشان داده است که نیتریک‌اکسید می‌تواند به‌عنوان یک مولکول در پدیده ترانسپانسی در گیاهان عمل کند و در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، پاتوفیزیولوژیکی و نموی مثل جوانه‌زنی دانه، بسته شدن روزنه، پاسخ به عوامل بیماری‌زا و نمو ریشه دخالت می‌کند (Laspina *et al.*, 2005)؛ از طرف دیگر، نیتریک‌اکسید می‌تواند به‌عنوان واسطه در عمل تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و متابولیسم ROS شرکت کند و در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که در انتقال پیام و پاسخ به تنش‌های زیستی و غیر زیستی نیز دخالت دارد (Del Rio *et al.*, 2004). کلسیم به‌عنوان یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان شناخته شده است. این عنصر که در گیاه غیر متحرک است، دارای نقش‌های الکتروشیمیایی، ساختمانی و کاتالیکی بسیاری می‌باشد (Jones, 1997). خنثی‌سازی و غیرمحلول کردن رادیکال‌های اسیدی و تنظیم نفوذپذیری سلول از جمله نقش‌های الکتروشیمیایی این عنصر می‌باشد. برعکس یون سدیم، یون‌های کلسیم نفوذپذیری سلول را کاهش می‌دهد. علاوه بر این نقش مهمی در انتقال یون‌ها در عرض غشای سلولی و جابجایی آن در بافت‌ها دارد (Vahid *et al.*, 1997). نقش ساختمانی کلسیم در غیرمحلول‌سازی اسیدپکتیک جهت تشکیل غشاهای پکتوسلولوزی می‌باشد. فعال کردن برخی آنزیم‌ها و واکنش با هورمون‌های گیاهی را می‌توان به‌عنوان نقش‌های کاتالیکی کلسیم در نظر گرفت (Segovia, 1989). کلسیم هم‌چنین با رسوب دادن برخی از ترکیبات از سمیت ناشی از غلظت زیاد آن‌ها در گیاه می‌کاهد. تشکیل اگزالات کلسیم نمونه‌ای از عمل سمیت زدایی کلسیم می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۸۳). افزایش غلظت کلسیم در محیط شور، تولید کل، محتوای رطوبت، نسبت اندام‌های هوایی به ریشه و محتوای پتاسیم گیاه را افزایش و محتوای سدیم را کاهش می‌دهد. بنابراین به نظر می‌رسد که با افزایش کلسیم تحت شرایط تنش می‌توان اثرات نامطلوب شوری را بر رشد گیاه تقلیل داد (Hawkins *et al.*, 1993). Vahid و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که جذب عنصر کلسیم در گیاهان مختلف به‌ویژه نیشکر تحت اثر شوری قرار می‌گیرد و پیشنهاد کردند که از مقدار این عنصر در گیاهان تحت تنش شوری به‌عنوان شاخصی برای تحمل به شوری می‌توان استفاده کرد. امروزه فناوری نانو در کلیه عرصه‌های علمی از جمله بخش‌های مختلف کشاورزی در حال گسترش می‌باشد. نانو ذرات که ابعادی بین یک تا ۱۰۰ نانومتر دارند، دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به فرم اولیه خود هستند که این ویژگی‌ها می‌تواند بر نحوه عملکرد آن‌ها موثر باشد. در سال‌های اخیر نحوه اثر تغذیه عناصر مورد نیاز به فرم نانو ذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی نیز در این رابطه گزارش شده است. برای مثال، در مطالعه پیوندی و همکاران (۱۳۹۰) نانو کلات آهن در مقایسه با فرم معمول آن

اثر بیش‌تری بر رشد گیاه مرزه داشت. هم‌چنین Pandey و همکاران (۲۰۰۸) در آزمایشی روی نخود گزارش کرد که کاربرد اکسیدروی به فرم نانو ذرات نیز اثر بیش‌تری در افزایش رشد گیاه نسبت به فرم معمول آن دارد. در رابطه با اثر تغذیه برگی نانو ذرات کلسیم و هم‌چنین پیش تیمار بذور با سدیم نیتروپروساید بر رشد گیاه کنگد و واکنش آن به تنش شوری اطلاعات قابل دسترسی وجود ندارد. لذا، این تحقیق با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی و پیش‌تیمار بذور توسط عناصر مذکور بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی کنگد تحت تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ در مزرعه آموزشی ایستگاه تحقیقات کشاورزی شرق کشور واقع در شهرستان کاشمر انجام گرفت. این منطقه دارای موقعیت جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی، ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۰۶۳ متری از سطح آب‌های آزاد واقع است. بر اساس تقسیم‌بندی کوپن^۱، این منطقه دارای آب و هوایی نیمه خشک با تابستان‌های خشک و گرم است. میانگین سالیانه دمای این منطقه ۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این منطقه بر اساس آمار دراز مدت هواشناسی در فاصله زمانی تیرماه تا اواسط مهر فاقد بارندگی موثر است. بافت خاک منطقه آزمایشی لومی رسی و از رده اریدی‌سول^۲ می‌باشد. درصد وزنی رطوبت خاک در شرایط مزرعه ۲۴ درصد، با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. سایر مشخصات خاک در جدول ۱ آمده است. این آزمایش به صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. فاکتور اصلی شامل دو سطح شوری (آبیاری با آب معمولی و آب شور) و فاکتورهای فرعی شامل سدیم نیتروپروساید در چهار سطح (صفر، پیش‌تیمار بذور، محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار و پیش‌تیمار بذور+ محلول‌پاشی با غلظت ۵۰ میکرومولار) و محلول‌پاشی کلسیم در سه سطح (صفر، کربنات کلسیم به شکل معمول و به شکل نانو با غلظت چهار در هزار) در سه تکرار بود. (لازم به ذکر است که غلظت‌های مورد استفاده برای محلول‌پاشی با توجه به سایر منابع مرتبط انتخاب شدند (عرب و همکاران، ۱۳۹۱، احمدی و همکاران، ۱۳۹۱). تیمار تنش شوری با استفاده از آب شور چاه پس از تعیین میزان شوری و مشخصات آب اعمال شد (جدول ۲). قطعه زمین مورد نظر انتخاب و عملیات شخم و دیسک و ماله‌کشی در فروردین ماه ۱۳۹۵ انجام و زمین کرت‌بندی شد. یک نمونه خاک سطحی از هر تکرار قبل از کودپاشی و کاشت بذور، جهت آزمایش خاک‌شناسی و تجزیه برداشته و مخلوط شد و میزان کلسیم قابل جذب، فسفر، پتاسیم و نیتروژن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۱).

¹ Kupen

² Aridisoi

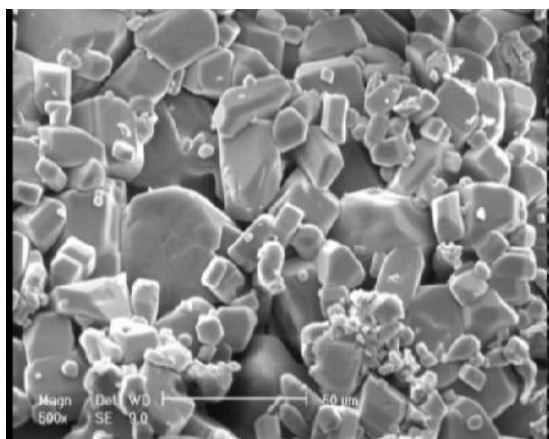
به منظور تأمین فسفر، نیتروژن و پتاسیم مورد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک کود فسفات آمونیوم و سولفات پتاسیم هر کدام به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره نیز به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت و ۵۰ کیلوگرم در هکتار هنگامی که ارتفاع بوته‌ها به حدود ۲۰ سانتی‌متر رسیده بودند به صورت سرک به خاک مزرعه اضافه شد. هر کرت آزمایشی شامل سه ردیف کاشت به طول سه متر با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. جهت جلوگیری از اختلاط آب آبیاری بین کرت‌های شور و غیر شور ۱۵۰ سانتی‌متر فاصله در نظر گرفته شد. بذور مربوط به پیش‌تیمار با سدیم نیتروپروساید به روش خیساندن در محلول ۱۵۰ میکرومولار (این غلظت از طریق انجام پیش آزمایش در آزمایشگاه انتخاب شد) تهیه شدند. کشت در نیمه دوم اردیبهشت ماه انجام شد و آبیاری مزرعه با توجه به نیاز آبی رقم کشت شده (اولتان) هر هشت روز یک بار انجام گرفت. پودر حاوی نانو ذرات کربنات کلسیم با میانگین قطر ذرات ۱۰ تا ۳۰ نانومتر (US-Nano) و سدیم نیتروپروساید به فرم معمولی مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر گرفته شده توسط دستگاه SEM از نمونه ذرات مورد استفاده در آزمایش در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. کلیه عملیات داشت شامل سله‌شکنی، مبارزه با علف‌های هرز و تنک کردن به موقع اجرا شد. محلول‌پاشی با غلظت‌های ذکر شده کربنات کلسیم و سدیم نیتروپروساید به فرم‌های معمولی و نانو بر گیاهان در دو مرحله و با استفاده از سم‌پاش پستی میکرون بعد از کالیبره کردن با فشار یک اتمسفر، در مرحله ساقه‌رفتن گیاه، هم‌چنین در مرحله گل‌دهی انجام گرفت. جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، محلول‌پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. دو هفته بعد از آخرین محلول‌پاشی هنگام آغاز کپسول‌دهی، نمونه‌گیری از برگ‌ها جوان بالغ به صورت تصادفی جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی انجام شد. نمونه‌ها بعد از قرار گرفتن در فویل آلومینیومی و نام‌گذاری به فریزر با دمای ۸۰- منتقل شدند. غلظت عناصر سدیم و کلسیم برگ با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin-Elmer 3030) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل از روش Arnon (۱۹۴۹) استفاده شد. هم‌چنین درصد روغن به وسیله سوکسله (Godsey *et al.*, 2003) و میزان پروتئین بذر به روش کلدال (Godsey *et al.*, 2003) و از حاصل ضرب درصد نیتروژن در عدد ثابت ۵/۲۵ تعیین گردید (دینی و کاراپتیان ۱۳۸۶). برای تعیین میزان پرولین برگ نیز از روش Bates (۱۹۷۳) استفاده شد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱: مشخصات خاک مورد استفاده

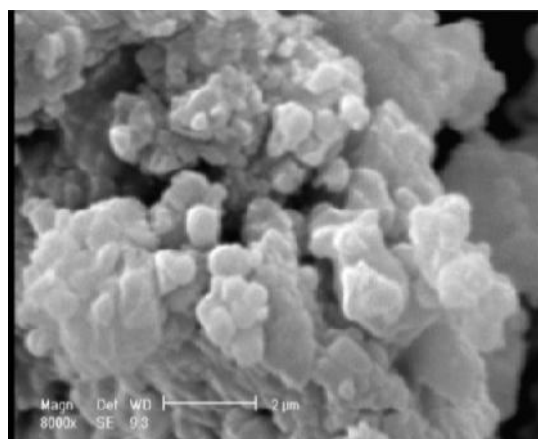
| بافت خاک | pH | ECe (ds m ⁻¹) | نیتروژن کل (%) | فسفر (ppm) | پتاسیم (ppm) | آهن (ppm) |
|----------|-----|---------------------------|----------------|------------|--------------|-----------|
| لومی | ۷/۸ | ۲/۱ | ۰/۱۵ | ۱۵/۶ | ۱۱۰ | ۰/۱۸ |

جدول ۲: مشخصات آب مورد استفاده

| سدمیم (ppm) | کلسیم (ppm) | املاح محلول (g/l) | ECe (ds m ⁻¹) | pH | نوع آب |
|-------------|-------------|-------------------|---------------------------|-----|--------|
| ۲۱۴ | ۱۷۰ | ۱/۱۴ | ۵/۱ | ۷/۳ | شور |
| - | - | - | ۱/۲ | ۷/۱ | معمولی |



شکل ۲: تصویر SEM سدیم



شکل ۱: تصویر SEM کربنات کلسیم به شکل نانو ذرات

نتایج و بحث

میزان کلروفیل برگ

نتایج نشان داد که تنش شوری اثر معنی داری بر میزان کلروفیل کل داشت (جدول ۳)؛ به طوری که مقدار کلروفیل کل در گیاه کنگد در شرایط تنش ۷۲ درصد کاهش را نسبت به شرایط عدم تنش نشان داد (جدول ۴). علی‌رغم این که گیاهان در میزان تحمل به شوری متفاوت می‌باشند، اما در نهایت، شوری سبب کاهش رشد آن‌ها خواهد شد. این کاهش به‌طور عمده در ارتباط با افت ظرفیت فتوسنتزی بوده که خود می‌تواند معلول کاهش در محتوای کلروفیل باشد (Sudhir and Murthy, 2004). مهم‌ترین علت این موضوع، به‌ویژه در شرایط تنش شدید، کاهش فعالیت آنزیم‌های مؤثر در سنتز کلروفیل (ALA-دهیدروژناز) و تولید آن است (Viera Santos, 2004). هنگامی که گیاه در شرایط شور رشد می‌کند، فعالیت فتوسنتزی آن کاهش یافته و در نتیجه میزان رشد، سطح برگ و محتوای کلروفیل کاهش و فلورسانس کلروفیل افزایش می‌یابد. از دیگر دلایل کاهش کلروفیل تحت تنش شوری می‌توان به افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن اشاره کرد که منجر به افزایش پر اکسیداسیون چربی و در نتیجه آسیب به غشای کلروپلاستی شده در نتیجه سبب تخریب کلروفیل می‌شود (Robertson *et al.*, 2001). هم‌چنین تجمع مقادیر بالای سدیم در بافت‌های گیاه از جمله عوامل مؤثر در تخریب

رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، کلروز برگ و کاهش فتوسنتز گزارش شده است (Robertson *et al.*, 2001). Ali و Afshar (۲۰۰۸) گزارش کردند که تنش شوری موجب افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن شده که این امر بیانگر آن است که کاهش در میزان کلروفیل هر یک از ارقام، نشان‌دهنده وسعت آسیب‌های اکسیداتیو است. کاهش در میزان کلروفیل a و b در شرایط تنش شوری توسط محققان دیگر نیز گزارش گردیده است (Sudhir and Murthy, 2004). بر اثر استفاده از تیمارهای کلسیمی مختلف بر محتوی کلروفیل کل معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین مقدار محتوی کلروفیل در تیمار نانو کربنات کلسیم با میزان ۰/۸۹ و کم‌ترین میزان کلروفیل هم در تیمار شاهد با مقدار ۰/۷۱ به دست آمد (جدول ۴). غلظت‌های مختلف سدیم نیترو پروساید اثر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل کل در برگ گیاه کنجد داشتند. به‌گونه‌ای که در بین تمامی تیمارهای به‌کاربرده شده کم‌ترین محتوی کلروفیل کل با مقدار ۱/۷۲ مربوط به تیمار شاهد و بیش‌ترین مقدار کلروفیل کل با میزان ۱/۹۵ مربوط به پیش‌تیمار به‌علاوه محلول‌پاشی بود (جدول ۴). افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از در واکنش به تنش شوری منجر به کاهش این رنگیزه‌ها شده و از طرف دیگر هورمون‌های بازدارنده رشد از قبیل هورمون آبسزیک‌اسید و اتیلن که در شرایط تنش شوری افزایش می‌یابند، در افزایش فعالیت این آنزیم نقش داشته و موجب تخریب بیش‌تر کلروفیل شود. در بین تیمارهای سدیم نیتروپروساید به‌کاربرده شده نیز محتوی کلروفیل کل بین تیمار محلول‌پاشی و پیش‌تیمار بذرها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اثر کاربرد تیمارهای مختلف کلسیم بر میزان محتوی کلروفیل a و b نشان داد که استفاده از این تیمارها اثر مثبت و معنی‌داری بر میزان کلروفیل a و b دارد (جدول ۳). به‌طوری که میزان محتوی کلروفیل a از ۰/۴۹ در تیمار شاهد به ۰/۶۶ در تیمار نانو کربنات کلسیم و میزان فعالیت کلروفیل b از ۰/۲۲ در تیمار شاهد به ۰/۲۸ در تیمار نانو کربنات کلسیم افزایش یافته بود (جدول ۴). تنش خشکی و شوری می‌توانند غلظت کلروفیل را از طریق جلوگیری از ساخت کلروفیل و یا تسریع تجزیه آن توسط آنزیم کلروفیل‌از (Reddy and Vora, 2002) و فتواکسیداسیون کلروفیل توسط گونه‌های فعال اکسیژن (Alonso *et al.*, 2001) کاهش دهند. این کاهش در کلروفیل b بیش‌تر از کلروفیل a هست که با افزایش نسبت کلروفیل a به b تحت تنش همراه هست. افزایش این نسبت می‌تواند به دلیل خسارت به کمپلکس‌های برداشت‌کننده نور در فتوسیستم II باشد زیرا مقدار قابل‌توجهی از کلروفیل b در این کمپلکس‌ها قرار دارد و نسبت کلروفیل b به a در آن سه به یک است (Oncel *et al.*, 2000). اثر تیمارهای کلسیمی بر نسبت کلروفیل a/b مشخص شد که استفاده از تیمارهای کلسیمی اثر معنی‌داری بر میزان این صفت ندارند (جدول ۴). نتایج نشان داد که تیمارهای متفاوت سدیم نیتروپروساید اثر معنی‌داری بر میزان نسبت کلروفیل a/b داشتند (جدول ۳). در بین تیمارهای مورد بررسی بیش‌ترین نسبت کلروفیل a/b مربوط به پیش‌تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید و پیش‌تیمار به همراه محلول‌پاشی بود (جدول ۴).

جدول ۳: تجزیه واریانس صفات کلروفیل کل، کلروفیل a/b، کلروفیل b، کلروفیل a، کلسیم، سدیم برگ و محتوای پروتئین و روغن دانه کنگد در شرایط تنش شوری

| میانگین مربعات | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| منابع | درجه آزادی | کلروفیل کل | کلروفیل a/b | کلروفیل b | کلروفیل a | پروکلین برگ | کلسیم برگ | سدیم برگ | پروتئین | روغن |
| تکرار | ۲ | ۰/۰۱۰ ^{ns} | ۰/۰۰۴ ^{ns} | ۰/۰۰۳۰ ^{ns} | ۰/۰۰۳ ^{ns} | ۲/۸ ^{ns} | ۰/۳ ^{ns} | ۰/۴ ^{ns} | ۰/۰۲ ^{ns} | ۱/۰۳ ^{ns} |
| شوری | ۱ | ۷۷/۲۳۲** | ۳/۴۳۲** | ۱۰/۲۹** | ۳۱/۳۴** | ۱۴۶۶/۱** | ۱۲۹۹/۱** | ۵۷۲۷/۷** | ۳۵/۰۰** | ۱۷/۲۱** |
| خطای اصلی | ۲ | ۰/۱۴۸ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۴۸۷ | ۰/۰۹۳ | ۲۰/۶ | ۶/۳ | ۲۵/۷ | ۰/۱۰ | ۰/۳۹ |
| سدیم نیتروپروساید | ۳ | ۰/۱۵۳** | ۰/۰۷۹* | ۰/۰۲۰۴** | ۰/۱۵۹** | ۶۱/۵** | ۳/۷ ^{ns} | ۲۸/۹** | ۴۰/۴۶** | ۴۸/۳۹** |
| شوری × سدیم نیتروپروساید | ۳ | ۰/۰۱۹ ^{ns} | ۰/۰۴۵ ^{ns} | ۰/۰۰۴۰ ^{ns} | ۰/۰۱۰ ^{ns} | ۲/۳ ^{ns} | ۱/۹ ^{ns} | ۲۹/۲** | ۰/۵۰ ^{ns} | ۱/۳۸ ^{ns} |
| کلسیم | ۲ | ۰/۱۸۳** | ۰/۰۲۲ ^{ns} | ۰/۰۳۲۳** | ۰/۱۵۶** | ۳۰/۰** | ۱۰۳/۶** | ۳۶/۱** | ۰/۳۶ ^{ns} | ۰/۶۲ ^{ns} |
| شوری × کلسیم | ۲ | ۰/۰۰۲ ^{ns} | ۰/۰۱۲ ^{ns} | ۰/۰۰۰۹ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۱/۰ ^{ns} | ۲/۸ ^{ns} | ۴/۹ ^{ns} | ۰/۲۰ ^{ns} | ۰/۲۹ ^{ns} |
| کلسیم × سدیم نیتروپروساید | ۶ | ۰/۰۰۵ ^{ns} | ۰/۱۱۴* | ۰/۰۰۰۴ ^{ns} | ۰/۰۰۹* | ۶/۰ ^{ns} | ۱/۳ ^{ns} | ۲/۳ ^{ns} | ۰/۲۲ ^{ns} | ۰/۱۳ ^{ns} |
| شوری × کلسیم × سدیم نیتروپروساید | ۶ | ۰/۰۰۹ ^{ns} | ۰/۰۶۸ ^{ns} | ۰/۰۰۰۶ ^{ns} | ۰/۰۰۱ ^{ns} | ۶/۱ ^{ns} | ۰/۲ ^{ns} | ۲/۶ ^{ns} | ۰/۲۴ ^{ns} | ۰/۴۰ ^{ns} |
| خطای فرعی | ۳۴ | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۰۰۷ | ۰/۰۰۳ | ۴/۸ | ۱/۳ | ۳/۴ | ۰/۰۴ ^{ns} | ۰/۵۰ ^{ns} |
| CV% | | ۵/۱۰ | ۹/۳۳ | ۴/۱۴ | ۴/۳۵ | ۱۰/۳۴ | ۱۰/۱۷ | ۱۲/۹۸ | ۰/۱۷ | ۰/۳۳ |

ns، * و ** به ترتیب بیانگر معنی دار نبودن، معنی دار بودن در سطوح پنج و یک درصد.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای آزمایش بر صفات کلروفیل کل، کلروفیل a/b، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل c، سدیم، سدیم برگ و محتوای پروتئین و روغن دانه کنجد در شرایط تنش شوری

| عامل آزمایشی | کلروفیل کل | کلروفیل a | کلروفیل b | نسبت کلروفیل a/b | پروکلین برگ ($\mu\text{mol/gr}$) | کلسیم برگ | سدیم برگ | پروتئین (%) | روغن (%) |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| <u>سدیم نیتروپروساید</u> | | | | | | | | | |
| شاهد | ۱/۷۲ ^c | ۱/۱۳ ^c | ۰/۵۹ ^c | ۲/۰۶ ^b | ۱۹/۶۰ ^c | ۱۰/۸ ^a | ۱۶/۱۱ ^a | ۲۳/۳ ^b | ۴۸/۵ ^a |
| پیش تیمار بذر | ۱/۸۲ ^b | ۱/۲۰ ^b | ۰/۶۱ ^{bc} | ۲/۱۶ ^a | ۱۹/۸۵ ^c | ۱۱/۲ ^a | ۱۴/۱۵ ^b | ۲۳/۴ ^b | ۴۸/۶ ^a |
| محلول پاشی | ۱/۸۳ ^b | ۱/۲۲ ^b | ۰/۶۴ ^b | ۲/۰۴ ^b | ۲۱/۳۴ ^b | ۱۱/۴ ^a | ۱۳/۷۸ ^c | ۲۵/۸ ^a | ۴۵/۷ ^b |
| محلول پاشی + پیش تیمار شوری | ۱/۹۵ ^a | ۱/۳۵ ^a | ۰/۶۷ ^a | ۰/۱۶ ^a | ۲۳/۶۲ ^a | ۱۱/۹ ^a | ۱۳/۱۸ ^c | ۲۶/۱ ^a | ۴۵/۶ ^b |
| <u>شاهد</u> | | | | | | | | | |
| شاهد | ۲/۸۶ ^a | ۱/۸۹ ^a | ۱/۰۰ ^a | ۱/۸۸ ^b | ۶/۸ ^b | ۱۵/۶ ^a | ۵/۴ ^b | ۲۳/۹ ^b | ۴۷/۶ ^a |
| تنش | ۰/۷۹ ^b | ۰/۵۷ ^b | ۰/۲۵ ^b | ۲/۳۲ ^a | ۳۵/۴ ^a | ۷/۱ ^b | ۲۳/۲ ^a | ۲۵/۳ ^a | ۴۶/۶ ^b |
| <u>کلسیم</u> | | | | | | | | | |
| شاهد | ۰/۷۱ ^c | ۰/۴۹ ^c | ۰/۲۲ ^c | ۲/۳۴ ^a | ۳۴/۰ ^c | ۵/۹۸ ^c | ۲۵/۶ ^a | ۲۴/۵ ^a | ۴۷/۲ ^a |
| کربنات کلسیم | ۰/۷۸ ^b | ۰/۵۶ ^b | ۰/۲۵ ^b | ۲/۲۶ ^a | ۳۵/۵ ^b | ۷/۰۷ ^b | ۲۳/۴ ^b | ۲۴/۶ ^a | ۴۷/۱ ^a |
| نانو کربنات کلسیم | ۰/۸۹ ^a | ۰/۶۶ ^a | ۰/۲۸ ^a | ۲/۳۶ ^a | ۳۶/۶ ^a | ۸/۱۴ ^a | ۲۰/۷ ^c | ۲۴/۸ ^a | ۴۶/۹ ^a |

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

میزان عناصر در اندام هوایی

میزان سدیم

نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش نشان داد که اعمال تنش شوری بر کنجد سبب اثر معنی‌داری بر میزان سدیم موجود در برگ می‌شود (جدول ۳). به نحوی که مقدار سدیم موجود در برگ در شرایط تنش ۷۶ درصد نسبت به شرایط نرمال افزایش یافت (جدول ۴). افزایش میزان سدیم موجود در برگ سبب ایجاد سمیت در گیاه می‌شود. از دلایل اصلی سمیت یون سدیم در داخل سلول، رقابت آن با یون پتاسیم بر سر محل‌های اصلی اتصال در فرآیندهای کلیدی متابولیک نظیر فعالیت‌های آنزیمی، سنتز پروتئین و فعالیت ریبوزوم‌ها است (Flowers and Colmer, 2008). Baybordi و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تنش شوری ناشی از کلرور سدیم بر خصوصیات فیزیولوژیکی ارقام پاییزه کلزا بیان نمودند که همراه با افزایش شوری، غلظت پتاسیم، نسبت K/Na، کاهش یافت و در مقابل با افزایش شوری غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم افزایش یافت. دفع سدیم از اندام‌های هوایی به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های مهم تحمل شوری در برخی از گیاهان از جمله گندم و جو شناسایی شده است و تحمل به شوری در این گونه‌ها به توانایی آن‌ها برای دفع سدیم بستگی زیادی دارد به‌گونه‌ای که از تجمع غلظت‌های بالای یون سدیم در برگ به‌ویژه پهنک برگ جلوگیری می‌کنند (Munns, 2005).

بر اساس نتایج مشخص شد که در بین کاربرد تیمارهای مختلف کلسیم از نظر اثر آن‌ها بر مقدار سدیم برگ، تفاوت معنی‌داری دارد (جدول ۳)؛ به نحوی که استفاده از تیمارهای کلسیمی کاهش مقدار سدیم برگ را به دنبال دارد، مقدار سدیم برگ از ۲۵/۶ در تیمار شاهد به ۲۰/۷ در تیمار نانو کربنات کلسیم کاهش یافت. تجمع سدیم در محیط و یا در گیاه سبب ایجاد رقابتی در جذب عناصر در گیاه شده و در نهایت کاهش جذب پتاسیم را به دنبال دارد و این امر برای سدیم در نمک‌های کلرید یا سولفات صادق می‌باشد. از مقدار سدیم و پتاسیم موجود در برگ به عنوان شاخصی برای تعیین ارقام مقاوم به تنش شوری استفاده می‌شود به گونه‌ای که ارقامی که نسبت سدیم موجود در برگ آن‌ها کم‌تر از پتاسیم باشد به عنوان ارقام مقاوم انتخاب می‌شوند (Reddy and Vora, 2002). لذا با توجه به این که استفاده از تیمارهای کلسیمی به کاربرده شده سبب کاهش معنی‌دار مقدار سدیم برگ شد و با توجه به اهمیت مقدار این عنصر در گیاه می‌توان استفاده از این تیمارها را در جهت القای مقاومت به تنش شوری توصیه کرد. نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف سدیم نیتروپروساید از لحاظ میزان سدیم برگ دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بودند (جدول ۳). استفاده از تیمارهای مختلف سدیم نیتروپروساید سبب کاهش میزان سدیم برگ می‌شود به گونه‌ای که بیش‌ترین مقدار سدیم برگ مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین مقدار سدیم برگ مربوط به تیمار پیش‌تیمار بذر به علاوه محلول پاشی بود هرچند که بین این تیمار و تیمار محلول پاشی تفاوت آماری معنی‌داری وجود نداشت. اگرچه برخی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی عکس‌العمل گیاهان به شوری ناشناخته است ولی گزارش‌ها بیان می‌کنند که وجود پتانسیل اسمزی ناشی از حضور یون‌های موجود در آب صرف‌نظر از منبع آن منجر به کاهش سطح برگ، تبخیر و تعرق و امکان استفاده آب موجود برای گیاه می‌گردد. همچنین سمیت ناشی از حضور برخی از یون‌ها و فراوانی نسبی آن‌ها منجر به برهم خوردن تعادل موجود میان عناصر گشته و در نهایت با افزایش شوری خاک و کاهش پتانسیل اسمزی جذب آب و عناصر غذایی از جمله نیتروژن و پتاسیم کم‌تر شده و آهنگ رشد کاهش می‌یابد. آزمایش Dabuxilatu و Ikeda (۲۰۰۵) نشان داد که محلول پاشی کلسیم موجب کاهش غلظت سدیم در اندام‌های مختلف سویا تحت تنش شوری شد. در ژنوتیپ‌های دارای تجمع بالای یون سدیم، تنش شوری شدید باعث صدمه شدید به برگ، کاهش دوام برگ، کاهش میزان حفظ کلروفیل و همچنین کاهش میزان فتوسنتز در برگ شده و این منجر به کاهش میزان فتوسنتز جاری گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد (Hussain *et al.*, 2003). لذا بر طبق نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تیمار نانو کربنات کلسیم می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از افزایش میزان سدیم برگ و خسارت‌های ناشی از این افزایش در پی داشته باشد. در مطالعه Rangel و همکاران (۱۹۹۲) نیز گزارش شد که استفاده از تیمارهای خارجی کلسیم دارای یک خاصیت بهبود دهنده در مقابله با تنش در گیاهان است به گونه‌ای که با حفظ و نگهداری نسبت اپتیمم K^+/Na^+ و همئوستازی در سیتوزول سبب ممانعت

از ورود سدیم و خروج پتاسیم می‌شود.

میزان کلسیم

نتایج مشخص کرد که اعمال تنش شوری کاهش معنی‌داری در میزان کلسیم را سبب می‌شود (جدول ۳)؛ به‌گونه‌ای که مقدار کلسیم برگ در شرایط تنش ۵۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (جدول ۴). تنش شوری سبب کاهش غلظت یون‌های نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ریشه و برگ می‌گردد (Higbie *et al.*, 2010). در این آزمایش استفاده از تیمارهای مختلف کلسیمی نشان داد که استفاده از آن‌ها اثر معنی‌داری بر میزان کلسیم برگ می‌گذارد (جدول ۳). مشخص شد که در بین تیمارهای کلسیمی به‌کاربرده شده در این پژوهش بیش‌ترین مقدار کلسیم برگ با میزان ۸/۱۴ مربوط به تیمار نانو کربنات کلسیم و کم‌ترین میزان این عنصر با مقدار ۵/۹۸ مربوط به تیمار شاهد بود. نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای مختلف سدیم نیتروپروساید اثر معنی‌داری بر میزان کلسیم برگ ندارند (جدول ۴). در نتایج به‌دست‌آمده از آزمون مقایسه میانگین‌ها داده‌های مربوط به این صفت ملاحظه شد بیش‌ترین مقدار کلسیم برگ مربوط به تیمار پیش‌تیمار بذر به‌علاوه محلول‌پاشی بود درحالی‌که کم‌ترین مقدار کلسیم برگ مربوط به تیمار شاهد بود. پیش‌تیمار بذر و تیمار محلول‌پاشی نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). کلسیم سیتوپلاسمی در سلول‌های گیاهی در پاسخ به چالش‌های محیطی مختلف مانند تنش‌های زنده و غیرزنده و نمو افزایش می‌یابد. این افزایش ناپایدار در غلظت کلسیم سیتوپلاسمی برای تولید پاسخ‌های فیزیولوژیکی حیاتی است. بالا رفتن غلظت کلسیم یک پاسخ عمومی به تنش است. اختلال در سطح کلسیم سیتوپلاسمی "signature" نامیده می‌شود و از طریق چالش‌های محیطی، نشانه‌های نمودی ایجاد می‌شود و پاسخ فیزیولوژیکی مناسب به هریک داده می‌شود (Elsayed Fathi *et al.*, 2017). لازم به توضیح است که افزایش در مقدار کلسیم برگ ناپایدار است به‌گونه‌ای که در مطالعات مختلف نیز کاهش در میزان کلسیم برگ در طی تنش شوری گزارش شده است. در مطالعه Tuna و همکاران (۲۰۰۷) بر روی گوجه‌فرنگی گزارش شد که وجود NaCl در محیط رشدی سبب کاهش معنی‌دار رشد و میزان کلسیم در محصول و همچنین سبب افزایش تجمع سدیم در برگ و کاهش کلسیم و پتاسیم در برگ و ساقه در هر دو ژنوتیپ مورد بررسی شد.

محتوای پروتئین و روغن دانه

نتایج نشان داد که میزان پروتئین و روغن کنجد به شکل معنی‌داری تحت اثر شرایط تنش شوری و تیمارهای متفاوت سدیم نیتروپروساید و کلسیم قرار می‌گیرند (جدول ۳). به‌طوری‌که با اعمال تنش شوری از میزان روغن کنجد کاسته و بر میزان پروتئین افزوده می‌شود (جدول ۴). نتایج مشخص کرد که در شرایط تنش شوری مقدار روغن ۲/۲ درصد کاهش و

میزان پروتئین ۳/۴ درصد افزایش می‌یابد. از دلایل افزایش درصد پروتئین، می‌تواند رقابت با مقدار روغن بر سر اشغال فضای دانه باشد (Uzun *et al.*, 2008). عملکرد پروتئین از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد پروتئین حاصل می‌شود. Robertson و همکاران (۲۰۰۱) نیز نتایج مشابهی را در خصوص افزایش درصد و کاهش روغن را در شرایط تنش خشکی گزارش نمودند. Yasumoto و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش نمودند که تنش اسمزی در مرحله‌ی گل‌دهی باعث کاهش محتوای روغن دانه می‌گردد. کاربرد تیمارهای متفاوت سدیم نیترو پروساید نشان داد که در بین تیمارهای مورد بررسی بیش‌ترین مقدار روغن مربوط به پیش تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید بود هرچند که به لحاظ آماری تفاوت این تیمار با تیمار شاهد معنی‌دار نبود. تیمارهای محلول‌پاشی و محلول‌پاشی به‌علاوه پیش‌تیمار نیز از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند هرچند که با دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳). در خصوص مقدار پروتئین، بین تیمارهای مورد بررسی بیش‌ترین مقدار پروتئین با میزان ۲۶/۱ مربوط به تیمار محلول‌پاشی + پیش‌تیمار بود و کم‌ترین مقدار پروتئین هم مربوط به تیمار شاهد بود؛ هرچند که اختلاف معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی با میانگین ۲۵/۸ نداشت (جدول ۴)

محتوای پرولین برگ

نتایج مربوط به سنجش آنزیم پرولین نشان داد که تنش شوری اثر معنی‌داری بر فعالیت این آنزیم دارد (جدول ۳). نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اعمال تنش شوری سبب افزایش بسیار چشمگیری در میزان فعالیت این آنزیم شده است به‌گونه‌ای که بر طبق نتایج به‌دست آمده مقدار فعالیت آنزیم پرولین ۷۹/۸ درصد افزایش را در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش نشان می‌دهد. (جدول ۴). Misra و Saxena (۲۰۰۹) در مطالعه روی عدس به بررسی تجمع پرولین و آنزیم‌های دخیل در مسیر پرولین در شرایط شوری پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که با افزایش شوری و زمان، اثر شوری بر گیاه غلظت پرولین افزایش می‌یابد. هم‌چنین فعالیت آنزیم پرولین اکسیژناز یا همان پرولین‌دهیدروژناز (PDH) در شرایط شوری کاهش یافت؛ بنابراین چنین به‌نظر می‌رسد که در شرایط شوری گیاهان با افزایش بیوسنتز پرولین و کاهش تجزیه آن، موجب افزایش پرولین در گیاه می‌شوند. برخلاف نقشی که پرولین در بهبود مکانیسم‌های گیاه در شرایط تنش دارد، کاربرد خارجی پرولین در گیاهان در شرایط نرمال ایجاد سمیت می‌نماید که در این شرایط ظاهر گیاه مانند زمانی است که برنامه مرگ سلولی رخ داده است، می‌شود (Deuschle, 2004). نتایج مربوط به سنجش مقدار آنزیم پرولین نشان داد که استفاده از تیمارهای کلسیمی مختلف اثر معنی‌داری در میزان فعالیت آنزیم پرولین دارند (جدول ۳). بر طبق نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های داده‌ها مشخص شد که بیش‌ترین مقدار فعالیت آنزیم پرولین مربوط به تیمار کربنات کلسیم با مقدار ۳۶/۶ و کم‌ترین مقدار فعالیت این آنزیم با مقدار ۳۴ مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۴).

پرولین هم‌چنین می‌تواند به‌عنوان پایدارکننده ساختمان سلول، منبع انرژی و حتی به‌عنوان سیگنال دهنده تنش نیز عمل کند. تجمع پرولین ممکن است به خاطر کاهش اکسیداسیون پرولین یا تحریک سنتز آن از گلوتامات و یا افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز باشد (Deuschle et al., 2004). تجزیه آماری داده‌های مربوط به اثر تیمارهای مختلف سدیم نیتروپروساید بر میزان فعالیت پرولین نشان داد که تیمارهای مختلف سدیم نیتروپروساید اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم پرولین دارند (جدول ۳). در بین تیمارهای سدیم نیتروپروساید اعمال‌شده بیش‌ترین مقدار فعالیت آنزیم پرولین در تیمار محلول‌پاشی به‌علاوه پیش‌تیمار مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده در این آزمایش نشان داد که به‌طورکلی شوری سبب کاهش عمده در ظرفیت فتوسنتزی و میزان کلروفیل و هم‌چنین روغن و پروتئین دانه و سبب افزایش غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه شد؛ ولی استفاده از تیمارهای سدیم نیتروپروساید + پیش‌تیمار بذر و کلسیم به فرم نانو، نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی مورد استفاده در این آزمایش، اثرات مخرب شوری را به‌طور موثرتری کاهش داد. لذا می‌توان از این تیمارها جهت کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری استفاده کرد.

سپاسگزاری

در اینجا لازم می‌دانیم از همکاری جناب آقای دکتر مجید غلامحسینی عضو هیئت علمی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر و جناب آقای دکتر محمدرضا مهرآبادی عضو هیئت علمی ایستگاه تحقیقات کشاورزی پنبه شرق کشور جهت همکاری در انجام طرح تشکر کنیم.

منابع

پیوندی، م.، میرزا، م. و کمالی‌جامکانی، ز. ۱۳۹۰. تأثیر نانو کلات آهن و کلات آهن بر رشد و فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان مرزه *Satureja hortensis*. مجله تازه‌های بیوتکنولوژی سلولی و ملکولی. جلد ۲، شماره ۵، ص ۲۵-۳۲.

خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۸۳. گیاهان صنعتی، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان. ۳۵۴ صفحه.

دینی‌ترکمانی، م. ر. و کاراپتیان، ژ. ۱۳۸۶. بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مهم دانه در ده رقم کنجد. مجله زیست‌شناسی ایران. جلد ۲۰، شماره ۴، ص ۴۸-۵۹.

عرب، ص.، برادران فیروزآبادی، م. و اصغری، ح. ۱۳۹۴. تاثیر محلول‌پاشی اسید اسکوربیک و سدیم نیتروپروساید

بر رنگیزه های فتوسنتزی و برخی صفات گلرنگ بهاره در شرایط تنش کم آبیاری. مجله تولیدات گیاهی. جلد ۳۸، شماره ۴، ص ۹۳-۱۰۴.

احمدی، ج.، سیفی، م. و امینی دهقی، م. ۱۳۹۱. تاثیر محلول پاشی ریز مغذی های آهن، روی و کلسیم بر عملکرد دانه و روغن ارقام کنگد. مجله تولید گیاهان زراعی. جلد ۵، شماره ۳، ص ۱۱۵-۱۳۰.

Alonso, R., Elvira, F., Castillo, B. and Gimeno, D. 2001. Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. Plant cell Environment, 24: 905-916.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol, 24: 1-14.

Ashraf, M. and Ali, Q. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany, 63: 266-273.

Bates, L. S. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Journal of Plant and Soil, 39: 205-207.

Bahrami, H., Razmjoo, J. 2012. Effect of salinity stress (NaCl) on germination and early seedling growth of ten sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). International Journal of Agriculture Science, 2(6): 529-537.

Bybord, A., Tabatabaei, S. J., Ahmedov, A. 2010. Effects of salinity on fatty acids composition of Canola (*Brassica napus* L.). Journal of food agriculture and environment, 8: 113-115.

Cicek, N. and Cakirlar, H. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars, Journal of Plant Physiology. 28(1-2): 66-74.

Dabuxilatu and Ikeda, M. 2005. Interactive effect of salinity and supplemental calcium application on growth and ionic concentration of soybean and cucumber plants. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 51(4): 549-555.

Del Rio, L. A., Corpas, F. J. and Barroso, J. B. 2004. Nitric oxide and nitric oxide synthase activity in plants. Phytochemistry, 65: 783-792.

Deuschle, K. 2004. The role of pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase in proline degradation. The Plant Cell Online, 16: 3413-3425.

Durner, J. and Klessig, D. 1999. Nitric oxide as a signal in plants. Current Opinion in Plant Biology, 2: 369-374.

Elsayed Fathi, A., Abeer, H., Abdulaziz, A., Wirth, S. and Egamberdieva, A. 2017. Calcium application enhances growth and alleviates the damaging effects induced by Cd stress in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Plant Interactions*, 15: 237-243.

Flowers, T. J. and Colmer, T. D. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179: 945-963.

Fernandes, J. S., Fernandes, P. D., Barbosa, M. E., Castro, N. H. And de Melo, A. S. 2017. Tolerance to Salinity of Sesame Genotypes in Different Phenological Stages. *American Journal of Plant Sciences*, 8: 1904-1920.

Godsey, C. B., Schmidt, J. P., Schlegel, A. J., Taylor, R. K., Thompson, C. R. and Gehl, R. J. 2003. Correcting iron deficiency in corn with seed row-applied iron sulfate. *Agronomy Journal*, 95: 160-166.

Hawkins, H. J. and Lewis, O. A. M. 1993. Combination effect of NaCl salinity, nitrogen from and calcium concentration on the growth. ionic content and gaseous exchange properties of *Triticum aestivum* L. cv. Gamtoos. *New Phytologist*, 124: 167-170.

Higbie, S. M., Wang, F., Stewart, J., Lindemann, W. C., Hughs, E. and Zhang, J. 2010. Physiological Response to Salt (NaCl) Stress in Selected Cultivated Tetraploid Cottons". *International Journal of Agronomy*, 190: 240-252.

Hussain, T. M., Chandrasekhar, T., Hazara, M., Sultan, Z., Saleh, B. Z. and Gopal, G. R. 2003. Recent advances in salt stress biology. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 3: 8-13.

Jones, J. B. 1997. *Hydroponics, A Practical Guide for the Soilless Grower*. St. Lucie Press. Boca Raton, Florida

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 Science*, 169: 323-330.

Misra, N. and Saxena, P. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Journal of Plant Science*, 177: 181-189.

Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167: 645-663.

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

Pandey, A. C., Sanjay, S. S. and Yadav, R. S. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5: 488-497.

Rangel, Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell and Environment*, 15: 625-632.

Reddy, M. and Vora, A. 2002. Pigment composition, and disaccharides metabolism in Bajra leaves under cacl2 salinity. *Photosynthetica*, 56: 123-136.

Robertson, M. J., Silim, S. N., Chauhan, Y. S. and Ranganathan, R. 2001. Predicting growth and development of pigeonpea: biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Research*, 70: 89-100.

Santos, C.V. 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 103: 93-99.

Segovia, A. 1989. Effect of salinity on seed germination and dry weight of four sugarcane varieties. *Proceeding of Inter-American Sugar Cane Seminars, Meeting the Challenge of the 1990's*, Miami, Florida, USA., pp. 353-356.

Sirato-Yasumoto, S., Katsuta, M., Okuyama, Y., Takahashi, Y. and Ide, T. 2001. Effect of sesame seeds rich in sesamin and sesamolin on fatty acid oxidation in rat liver". *Journal of Agriculture and food Chemistry*, 49: 2647-2651.

Sudhir, P. and Murthy, S. D. 2004. Effect of Salt Stress on Basic Processes of Photosynthesis. *Photosynthetica*, 42: 481- 486.

Tuna, A., Kaya, C., Ashraf, M., Hakan, A., Yokas, I. and Yagmur, B. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 59: 173-178.

Uzun, B., Arslan, C. and Furat, C. 2008. Variation in Fatty Acid Compositions, Oil Content and Oil Yield in a Germplasm Collection of Sesame (*Sesamum indicum L.*). *Journal of America Oil Chemists Society*, 85: 1135-1142.

vahid, A., Rasul, E. and Rao, R. A. 1997. Germination responses of sensitive and tolerance sugarcane lines to sodium chloride. *Journal of Seed Science and Technology*, 25:465-470.

Viera Santos, C. 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 103(1): 93-99. 6.

Wieczorek, J. F., Milczarek, G., Arasimovicz, M. and Ciszewski, A. 2006. Do nitric oxide donors mimic endogenous No-related response in plants. *Journal of Plant biology*, 224: 1363-1372.