

## تأثیر پوترسین و نیترات کلسیم بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پایداری غشا سلول در کنجد (*Seasamum indicum L.*) تحت تنش رطوبتی

سمیرا قلی‌پور، غلامرضا زمانی\* و مجید جامی الاحمدی

گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳)

### چکیده

به منظور بررسی اثرات کاربرد پوترسین و نیترات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کنجد تحت تنش رطوبتی آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. در این آزمایش سطوح رطوبتی در سه سطح شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کنجد به عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین در دو سطح (۰/۵ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با آب) به عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که برهمکنش تنش رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین روی فعالیت آنزیم کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز معنی‌دار بود. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین در تنش رطوبتی ۵۰٪ به دست آمد. بیشترین مقدار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین در تنش رطوبتی ۷۵٪ نیاز آبی به دست آمد. برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین، تنش رطوبتی و پوترسین و همچنین تنش رطوبتی و نیترات کلسیم بر آنزیم پراکسیداز و پایداری غشا معنی‌دار بود. به طور کلی محلول‌پاشی نیترات کلسیم و پوترسین بهترین تیمار در جهت کاهش تأثیرات تنش رطوبتی در گیاه کنجد بود که نشان‌دهنده وجود رابطه هم‌افزایی بین آنها در کاهش اثرات ناشی از تنش رطوبتی است.

کلمات کلیدی: پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز، کاتالاز، گونه‌های فعال اکسیژن و محلول‌پاشی

### مقدمه

رطوبتی بسیار حساس است (خواججه‌پور، ۱۳۸۳) و در طی دوره رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی از جمله تنش خشکی و شوری مواجه می‌گردد. هر یک از این تنش‌ها می‌تواند بسته به میزان حساسیت در مرحله رشد گیاه، اثرات متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آنها داشته باشد (Reddy *et al.*, 2004). تنش رطوبتی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و تولید گیاهان را از طریق تحت تأثیر قراردادن خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی آنها محدود می‌سازد.

*Seasamum indicum* از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است و به علت داشتن روغن با کیفیت، پروتئین و آنتی‌اکسیدان به طور گسترده‌ای در تهیه غذا و دارو استفاده می‌شود (Wang, 2007). تحمل خوبی به خشکی و گرما دارد و در انواع خاک‌ها به خوبی رشد می‌کند. سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته در کنجد آن را تا حدی به خشکی مقاوم نموده است، اما در مراحل رشد گیاهچه‌ای، مرحله گلدهی و اوایل دانه‌بندی نسبت به تنش

\* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: gzamani@birjand.ac.ir

تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کنگد تحت تنش رطوبتی اجرا گردید.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند روی گیاه کنگد انجام گرفت. آزمایش به صورت اسپلیت پلات- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سطوح رطوبتی در سه سطح شامل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با پوترسین در دو سطح (صفر و ۰/۵ میلی‌مولار) به عنوان فاکتور فرعی بود. علاوه بر این در هر کرت اصلی یک کرت فرعی به عنوان شاهد بدون تیمار لحاظ شد (شمس، ۱۳۸۸). نمونه‌گیری از خاک مزرعه قبل از کاشت انجام شد و سپس مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

کاشت بذور کنگد با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر و تراکم کاشت ۴۰ بوته در متر مربع در اواسط خرداد انجام شد (بهروز و شیرزادی، ۱۳۸۸). فاصله بین کرت‌های اصلی (تیمار رطوبتی) سه خط نکاشت (۱/۵ متر) تا از نشت رطوبت به کرت مجاور جلوگیری شود و فاصله بین کرت‌های فرعی یک خط نکاشت (۰/۵ متر) در نظر گرفته شد پس از استقرار کامل بوته‌ها، تیمارهای آبیاری براساس ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی کنگد انجام گرفت. محلول‌پاشی با پوترسین و نترات کلسیم در غلظت‌های مذکور در دو نوبت ۴۰ روز بعد از کاشت (دوره رشد رویشی) و فواصل بین دو محلول‌پاشی حداقل یک هفته در نظر گرفته شد (Bakry et al., 2012). به منظور کاهش تبخیر و جذب بیشتر، محلول‌پاشی یک ساعت قبل از غروب آفتاب انجام شد. نیاز آبی گیاه براساس میزان آب مورد نیاز کنگد با استفاده از نرم‌افزار (CROPWAT) در شرایط بیرجند تعیین شد. حجم

گیاهان برای کاهش اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال که تحت تأثیر تنش رطوبتی تولید می‌شوند، مکانیسم‌های متفاوتی دارند از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Yeganeh poor et al., 2017). کلسیم به عنوان پیام‌آور ثانویه در مسیرهای انتقال سیگنال عمل کرده و تنظیم‌کننده واکنش‌های دفاعی گیاه در شرایط تنش‌های محیطی است (Delian et al., 2014) و همچنین از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، موجب بهبود فتوسنتز گیاه در شرایط تنش‌های محیطی و کاهش خسارت گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن می‌شود (Ebrahim et al., 2016) و می‌تواند میزان پراکسیداسیون غشا را به وسیله افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاهش دهد (Tan et al., 2011). کاربرد کلسیم تحت تنش خشکی با توجه به اثرات متقابلی که با فسفات و پروتئین‌های غشا سلولی دارد، استحکام غشا و دیواره سلولی را بهبود داده و خاصیت کشسانی پروتوپلاست را حفظ کرده و غشا را در برابر از دست‌دادن آب حفاظت می‌کند و باعث کاهش خسارت به غشا و بهبود محتوای نسبی آب می‌شود (Shao et al., 2008). پلی‌آمین‌های معمول که در هر سلول گیاهی یافت می‌شوند، عبارت از پوترسین (دی‌آمید)، اسپرمیدین (تری‌آمین) و اسپرمین (تترا‌آمین) هستند؛ که توسط پلی‌آمین اکسیداز با اکسید کردن آمین‌های استیل‌شده باعث تبدیل پلی‌آمین‌های برتر (اسپرمین، اسپرمیدین، پوترسین) به پلی‌آمین‌های کوچک‌تر می‌شوند (Lilio and Kyriakidis, 2004). پوترسین می‌تواند با تحریک فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانت باعث افزایش مقاومت به تنش و با جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب ماکرومولکول‌ها منجر به افزایش کاروتنوئیدها و میزان گلوکاتایون در گیاهان شوند (Yiu et al., 2009; Tang and Newton, 2005). از آنجا که تنش رطوبتی از موانع اصلی در تولید محصولات زراعی و باغی در بسیاری از نقاط دنیا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران محسوب می‌شود، از این‌رو ارائه راهکارهای مؤثر در کاهش آثار منفی خشکی از اهداف مهم پژوهش‌های زراعی به‌شمار می‌رود. بنابراین، این

جدول ۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک

هدایت الکتریکی (dS/m <sup>-1</sup> )	pH	درصد ماده آلی %	رطوبت اشباع %	کلسیم			منیزیم (Meq/lit)	بافت
				پتاسیم	سدیم	کلسیم		
۵/۲	۸	۰/۳۸	۲۴/۵	۲/۱۵	۱۱	۵	۴/۴	شنی لومی

گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن توسط این آنزیم از میزان آسیب سلولی ناشی از تنش رطوبتی، کاسته است. نتایج نشان داد که برهمکنش تنش رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین در سطح احتمال ۱ درصد بر آنزیم کاتالاز معنی‌دار است (شکل ۱).

نشان داده شد که در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین و بالاترین سطح تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی بیشترین میزان (۱۷۰/۳۴۹) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) آنزیم کاتالاز به دست آمد. کمترین مقدار آنزیم کاتالاز (۱۵/۱۵) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در صورت محلول‌پاشی با آب در کمترین سطح تنش رطوبتی ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۱۱/۲ برابر افزایش نشان داد بدین صورت که در تنش رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین و در تنش رطوبتی ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین بیشترین آنزیم کاتالاز را به همراه داشت (جدول ۳).

به نظر می‌رسد که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در اثر محلول‌پاشی پوترسین و نیترات کلسیم موجب کاهش تنش اکسیداتیو و پاک‌سازی ROSها (گونه‌های فعال اکسیژن) توسط آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و همچنین باعث جلوگیری از وارد شدن آسیب‌های اکسیداتیو به سلول‌ها و افزایش تحمل به کم‌آبی در کنگد شود. گیاهان برای کاهش اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال، مکانیسم‌های متفاوتی دارند از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Li *et al.*, 2013; Shan and Liang, 2010). کلسیم از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، موجب بهبود فتوسنتز گیاه در شرایط تنش‌های محیطی

آب مورد استفاده توسط کنتور حجمی کنترل شد.

**اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها:** استخراج عصاره آنزیمی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز به روش sudhakar و همکاران (۲۰۰۱) و فعالیت آنها به روش Mishra و Karo (۱۹۷۶) اندازه‌گیری شد.

**اندازه‌گیری پایداری غشا:** با استفاده از روش Saneoka (۲۰۰۴) اندازه گرفته شد.

$$\text{درصد آسیب غشا} = \left\{ \frac{(1-T_1/T_2)}{(1-c_1/c_2)} \right\} \times 100$$

درصد آسیب غشا -۱- درصد پایداری غشا (MSI)

$T_2$  و  $T_1$  به ترتیب EC نمونه قبل و بعد از اتوکلاو و  $C_2$  و  $C_1$  به ترتیب EC نمونه شاهد قبل و بعد از اتوکلاو است. تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار Macro, SAS9.3 مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از Excel 2013 صورت گرفت.

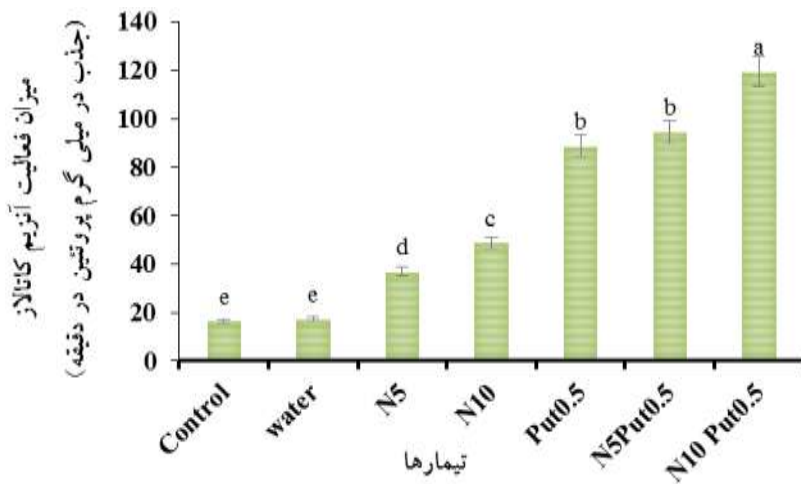
## نتایج و بحث

**آنزیم کاتالاز:** مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری ۱۸ گانه با شاهد نشان داد که تمامی تیمارهای اعمال‌شده به‌استثنا محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد دارای آنزیم کاتالاز بیشتری بودند (جدول ۲). حداکثر آنزیم کاتالاز (۱۷۰/۳۴۹۶) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و با مصرف پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و حداقل میزان آنزیم کاتالاز (۱۴/۳۱۲) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی عدم محلول‌پاشی به دست آمد که نسبت به تمامی تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند. به‌نظر می‌رسد که کاربرد نیترات کلسیم و پوترسین باعث تحریک تولید آنزیم کاتالاز شده و در اثر افزایش حذف

جدول ۲- تجزیه واریانس کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، پراکسیداز و پایداری غشا

منابع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز	پلی فنل اکسیداز	پراکسیداز	پایداری غشا
بلوک	۲	۲۱/۹۵ <sup>ns</sup>	۸۲/۷۷ <sup>ns</sup>	۴۰/۳۰۵ <sup>ns</sup>	۹/۳۱ <sup>ns</sup>
تنش رطوبتی	۲	۱۶۵۹۳/۶۸ <sup>**</sup>	۵۰۹۶/۵۹	۲۲۲۲۹۳/۴۳ <sup>**</sup>	۱۰۳۱/۲ <sup>**</sup>
خطای (الف)	۴	۱۱۰/۴۹	۲۲۳/۴۲	۵۶۱/۹۴	۲۳/۵۵
محلول پاشی نیترات کلسیم	۲	۴۳۸۴/۹۱ <sup>**</sup>	۷۸۴۶/۲۲ <sup>**</sup>	۵۲۱۷۷/۶۶ <sup>**</sup>	۶۷۲۵/۹۸ <sup>**</sup>
محلول پاشی پوترسین	۱	۵۹۹۹۱/۴۵ <sup>**</sup>	۷۵۵۸/۶۵ <sup>**</sup>	۵۷۵۲۹/۴۱ <sup>**</sup>	۷۵۹۱/۵۱ <sup>**</sup>
تنش × نیترات کلسیم	۴	۳۶۱۵/۱ <sup>**</sup>	۳۲۰/۱۴ <sup>**</sup>	۵۶۹۲/۶۰ <sup>**</sup>	۱۷۳/۷۳ <sup>**</sup>
تنش × پوترسین	۲	۴۶۰۴/۱۲ <sup>**</sup>	۶۳۷/۱۵ <sup>**</sup>	۱۵۴۴/۲۳ <sup>**</sup>	۹۷/۳
نیترات کلسیم × پوترسین	۲	۳۶۱۵/۱ <sup>ns</sup>	۱۹۸/۲۱	۷۴۴۹/۷۳ <sup>*</sup>	۴۴۸/۸۶ <sup>**</sup>
تنش × نیترات × پوترسین	۴	۸۴۰/۸۷ <sup>**</sup>	۲۰۷/۰۷ <sup>*</sup>	۱۰۳۹/۹۵ <sup>ns</sup>	۵۲/۵۴ <sup>ns</sup>
خطای (ب)	۳۰	۸۳/۲۴	۵۹/۸۹	۳۹۷/۴۶	۱۹/۸۴
ضریب تغییرات	-	۱۳/۴۸	۹/۱۸	۸/۹۴	۱۱/۶۱

\* و \*\* به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و ns معنی دار نیست.



شکل ۱- اثر تیمارهای اعمال شده بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز. اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف الفبایی مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی دار نیست.

نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار = N<sub>10</sub>، نیترات کلسیم ۵ میلی مولار = N<sub>5</sub>، محلول پاشی با آب = Water، بدون محلول پاشی = Control، نیترات کلسیم ۱۰ میلی - N<sub>10</sub> Put<sub>0.5</sub>، نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار = N<sub>5</sub> Put<sub>0.5</sub>، پوترسین ۰/۵ میلی مولار = Put<sub>0.5</sub>، نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

تحمل به تنش هستند (Takahama and Takayuki, 1997). آنزیم پلی فنل اکسیداز: نتایج مقایسه میانگین تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارهای اعمال شده به استثناء

می‌شود (Tan et al., 2011). همچنین محلول پاشی برگری پلی آمین‌ها به علت توانایی آنها به عنوان تنظیم کننده رشد، قادر به تعدیل نمودن متابولیسم گیاه و تولید متابولیت‌های درگیر در

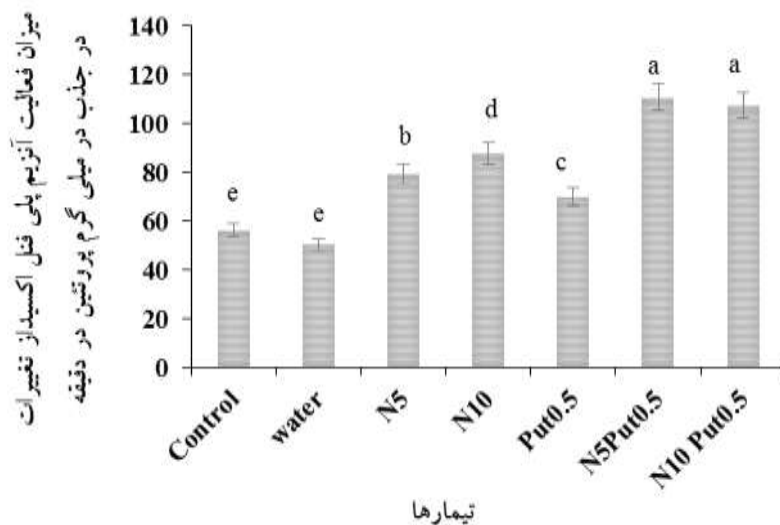
جدول ۳- مقایسه میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس داده‌های کاتالاز و پلی فنل اکسیداز

پلی فنل اکسیداز (تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه)	کاتالاز (تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه)	پوترسین	نیترات کلسیم	تنش رطوبتی
۵۴/۴۰ <sup>ghi(c)</sup>	۱۷/۰۶ <sup>h(e)</sup>	عدم مصرف	۰	
۷۶/۱۰ <sup>ef(c)</sup>	۱۳۷/۶۷ <sup>b(b)</sup>	مصرف		
۸۴/۹۸ <sup>de(c)</sup>	۲۹/۶۴ <sup>fgh(d)</sup>	عدم مصرف	۵	٪۵۰
۱۱۱/۶۷ <sup>b(a)</sup>	۹۱/۷۸ <sup>c(c)</sup>	مصرف		
۹۶/۵۶ <sup>cd(bc)</sup>	۸۸/۶۲ <sup>c(c)</sup>	عدم مصرف	۱۰	
۹۶/۱۱ <sup>cd(ab)</sup>	۱۷۰/۳۴ <sup>a(a)</sup>	مصرف		
۴۹/۶۴ <sup>hi(e)</sup>	۱۹/۷۸ <sup>gh(c)</sup>	عدم مصرف	۰	
۸۵/۰۹ <sup>de(d)</sup>	۸۶/۹۱ <sup>c(b)</sup>	مصرف		
۹۲/۰۷ <sup>cd(cd)</sup>	۶۵/۴۸ <sup>d(b)</sup>	عدم مصرف	۵	٪۷۵
۱۲۹/۲۲ <sup>a(b)</sup>	۱۳۹/۹۰ <sup>b(a)</sup>	مصرف		
۱۰۱/۵۹ <sup>bc(c)</sup>	۳۴/۳۴ <sup>fg(c)</sup>	عدم مصرف	۱۰	
۱۴۱/۱۰ <sup>a(a)</sup>	۱۳۸/۵۸ <sup>b(a)</sup>	مصرف		
۴۶/۷۳ <sup>i(e)</sup>	۱۵/۱۵ <sup>h(c)</sup>	عدم مصرف	۰	
۴۹/۲۷ <sup>hi(d)</sup>	۴۱/۹۸ <sup>ef(b)</sup>	مصرف		
۶۰/۹۴ <sup>gh(c)</sup>	۱۵/۵۴ <sup>h(c)</sup>	عدم مصرف	۵	٪۱۰۰
۹۱/۰۸ <sup>cd(a)</sup>	۵۱/۹۶ <sup>de(a)</sup>	مصرف		
۶۵/۰۱ <sup>fg(b)</sup>	۲۳/۲۱ <sup>gh(c)</sup>	عدم مصرف	۱۰	
۸۵/۲۴ <sup>de(b)</sup>	۴۹/۶۷ <sup>e(ab)</sup>	مصرف		

ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی دار نیستند. حروف بیرون پراتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پراتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

(جدول ۲). بیشترین آنزیم پلی فنل اکسیداز (۱۴۱/۱۰) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در صورت محلول‌پاشی با نیترات کلسیم ۵ و با مصرف پوترسین در تنش رطوبتی ۷۵٪ نیاز آبی به‌دست آمد. کمترین آنزیم پلی فنل اکسیداز (۴۶/۷۳) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در صورت محلول‌پاشی با آب در تنش رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۳ برابر افزایش نشان داد (جدول ۳) نیز مشخص کرد که تنش رطوبتی ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۰/۵ میلی-مولار و با مصرف پوترسین و تنش رطوبتی ۷۵ درصد نیاز آبی

محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد دارای آنزیم پلی فنل اکسیداز بیشتری بودند (شکل ۲). حداکثر مقدار آنزیم پلی فنل اکسیداز (۱۲۹/۲۲) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۷۵ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و حداقل میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز (۴۶/۷۳) تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۱۰۰ درصد نیاز آبی، محلول‌پاشی با آب اختصاص یافت. برهمکنش تنش رطوبتی، نیترات کلسیم و پوترسین در سطح احتمال ۵ درصد بر آنزیم پلی فنل اکسیداز معنی دار شد



شکل ۲- اثر تیمارهای اعمال شده بر روی میزان آنزیم پلی فنل اکسیداز. ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی دار نیستند.

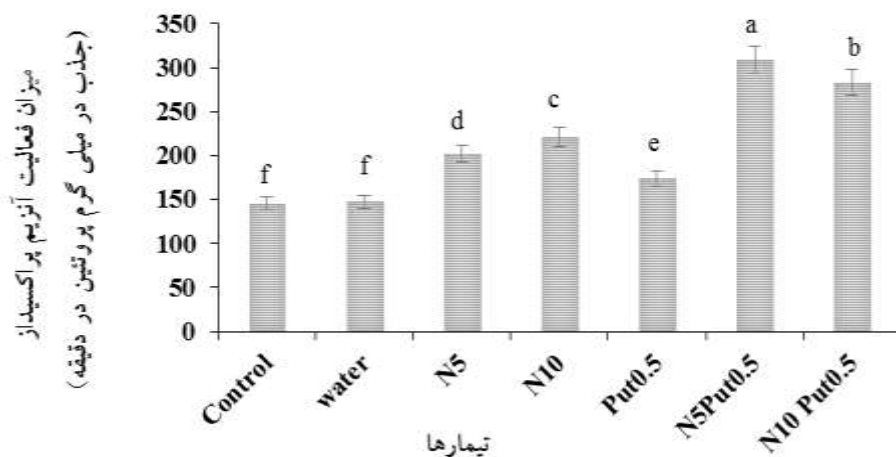
نیتراکسید ۱۰ میلی مولار = N<sub>10</sub>، نیتراکسید ۵ میلی مولار = N<sub>5</sub>، محلول پاشی با آب = Water، بدون محلول پاشی = Control، نیتراکسید ۱۰ میلی = N<sub>10</sub> Put<sub>0.5</sub>، نیتراکسید ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار = N<sub>5</sub> Put<sub>0.5</sub>، پوترسین ۰/۵ میلی مولار = Put<sub>0.5</sub> مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

محلول پاشی با آب نسبت به شاهد دارای آنزیم پراکسیداز بیشتری بودند (شکل ۳). حداکثر مقدار آنزیم پراکسیداز (۳۶۷/۰۲) تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی با محلول پاشی نیتراکسید ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی مولار و حداقل میزان آنزیم پراکسیداز (۱۳۵/۰۴) تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بدون محلول پاشی اختصاص یافت. فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط عدم محلول پاشی و مصرف پوترسین به شدت کاهش یافت، اما با کاربرد نیتراکسید ۱۰ و پوترسین، فعالیت این آنزیم‌ها به طور چشم‌گیری افزایش یافت.

تنش رطوبتی، موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر و در نتیجه افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود. آنزیم پراکسیداز نقش بسیار مهمی در غیرفعال کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول گیاه دارند. بسته به گونه گیاهی و شدت تنش، میزان فعالیت آنها در گیاه تغییر می‌کند (Apel and Hirt, 2004). برهمکنش تنش رطوبتی و نیتراکسید ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

نیتراکسید ۱۰ میلی مولار و با مصرف پوترسین بیشترین مقدار آنزیم پلی فنل اکسیداز را به همراه داشت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کاربرد نیتراکسید ۱۰ و پوترسین در گیاه کنگد باعث فعالیت آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شده است که به نوبه خود گیاهان را در برابر تولید ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) و پراکسیداسیون لیپیدی حفاظت می‌کند. کاربرد نیتراکسید ۱۰ و پوترسین موجب افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز شد. به نظر می‌رسد محلول پاشی نیتراکسید ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی مولار نقش آنتی‌اکسیدانی ایفا کرده و سلول‌های برگ کنگد را از صدمه واکنش‌های اکسیداتیو محافظت نموده است. براساس مطالعات دیگری سطوح بالای پلی‌آمین موجب افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزنده شده و به طور مستقیم به عنوان یک آنتی‌اکسیدان موجب حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن گردیده است (Duan et al., 2007).

آنزیم پراکسیداز: مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری ۱۸ گانه با شاهد نشان داد که تمامی تیمارهای اعمال شده به استثنای



شکل ۳- اثر تیمارهای اعمال شده بر روی میزان آنزیم پراکسیداز. ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی دار نیستند.

نیترات کلسیم ۱۰ میلی مولار =  $N_{10}$ ، نیترات کلسیم ۵ میلی مولار =  $N_5$ ، محلول پاشی با آب = Water، بدون محلول پاشی = Control، نیترات کلسیم ۱۰ میلی =  $N_{10} Put_{0.5}$ ، نیترات کلسیم ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار =  $N_5 Put_{0.5}$ ، پوترسین ۰/۵ میلی مولار =  $Put_{0.5}$  مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

پرو لین افزایش دادند (Ozturk and Demir, 2003). کلسیم به‌طور غیرمستقیم موجب فعال شدن پراکسیداز می‌شود. لازم به ذکر است که این کاتیون موجب ایجاد پیوند بین پلی گالاتوریون‌ها و ایجاد ساختاری می‌شود که توسط پراکسیداز قابل شناسایی است (Penel et al., 1999). تنش رطوبتی و پوترسین (جدول ۵) نشان داد که بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز (۲۸۳/۸۷ تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه) در تنش رطوبتی ۷۵٪ نیاز آبی و با مصرف پوترسین به‌دست آمد که با مصرف پوترسین و تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار آنزیم پراکسیداز (۱۶۰/۳۷۱ تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه) در تنش رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و بدون مصرف پوترسین به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۱/۷۷ برابر افزایش نشان داد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار استفاده پوترسین در شرایط تنش رطوبتی ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی افزایش یافت در حالی که چنین افزایشی در تیمار عدم مصرف پوترسین مشاهده نشد در نتیجه با مصرف پوترسین از پر اکسیداسیون لیپیدها و تخریب ماکرومولکول‌ها جلوگیری کرده و تحمل به تنش رطوبتی را

برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین در سطح احتمال ۱ درصد و برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین در سطح احتمال ۵ درصد بر آنزیم پراکسیداز معنی دار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ۴) نشان داد که با محلول پاشی نیترات کلسیم ۵ و در صورت مصرف پوترسین باعث شد بیشترین آنزیم پراکسیداز (۳۰۹/۳۶ تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه) به‌دست آمد. کمترین مقدار اسیدآمین پراکسیداز (۱۴۷/۶۲۵ تغییرات در جذب در میلی گرم پروتئین در دقیقه) محلول پاشی با آب به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۲/۰۹ برابر افزایش نشان داد.

بنابراین می‌توان در صورت محلول پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین میزان پراکسیداز را در گیاه کنگد افزایش داد؛ این‌طور به‌نظر می‌رسد که محلول پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین از لحاظ سطوح فعالیت آنزیم پراکسیداز موجب شکسته شدن هیدروژن پراکسید در سلول خواهد شد و در نتیجه از تولید گونه‌های فعال اکسیژنی جلوگیری می‌کند و بنابراین افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط تنش می‌تواند موجب افزایش تحمل به تنش در گیاه کنگد شود. کاربرد پلی آمین‌های خارجی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را همراه با

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین برای آنزیم پراکسیداز و پایداری غشا

پایداری غشا	پراکسیداز	نیترات کلسیم	پوترسین
۹/۵۸ <sup>f</sup>	۱۴۷/۶۲ <sup>f</sup>	۰	عدم مصرف
۲۸/۰۳ <sup>d</sup>	۱۷۳/۹۳ <sup>e</sup>	۰	مصرف
۲۱/۱۶ <sup>e</sup>	۲۰۱/۸۶ <sup>d</sup>	۵	عدم مصرف
۵۶/۳۹ <sup>c</sup>	۳۰۹/۳۶ <sup>a</sup>	۵	مصرف
۴۸/۷۳ <sup>c</sup>	۲۲۱/۳۵ <sup>c</sup>	۱۰	عدم مصرف
۶۶/۱۸ <sup>a</sup>	۲۸۳/۹۳ <sup>b</sup>	۱۰	مصرف

ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین برای آنزیم پراکسیداز و پایداری غشا

پایداری غشا	پراکسیداز	تنش رطوبتی	پوترسین
۲۱/۴۶ <sup>e</sup>	۱۹۵/۱۹ <sup>c</sup>	۵۰	عدم مصرف
۴۲/۸۱ <sup>b</sup>	۲۷۷/۱۲ <sup>a</sup>	۵۰	مصرف
۲۵/۷۶ <sup>d</sup>	۲۱۵/۲۸ <sup>b</sup>	۷۵	عدم مصرف
۴۶/۴۸ <sup>b</sup>	۲۸۳/۸۷ <sup>a</sup>	۷۵	مصرف
۳۲/۲۴ <sup>c</sup>	۱۶۰/۳۷ <sup>d</sup>	۱۰۰	عدم مصرف
۶۱/۳۱ <sup>a</sup>	۲۰۵/۶۹ <sup>bc</sup>	۱۰۰	مصرف

ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند.

محلول‌پاشی نیترات کلسیم افزایش یافت که به نظر می‌رسد یکی از مکانیسم‌های گیاه در مقابله با خشکی افزایش فعالیت این آنزیم است. کلسیم از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و از بین بردن گونه‌های اکسیژن فعال، موجب بهبود فتوسنتز گیاه در شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (Tan et al., 2011). اثر مثبت کلسیم بر افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدان به‌علت حضور کلسیم و کلسیم-کالمودولین، در گیاه تحت تنش محیطی که باعث تحریک، تنظیم و افزایش بیان ژن‌های سیستم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (Erinle et al., 2016; Yang et al., 2015).

**پایداری غشا:** نتایج مقایسه میانگین تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارهای اعمال‌شده به‌استثنا محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد دارای پایداری غشا بیشتری بودند (شکل ۴). حداکثر مقدار پایداری غشا (۷۶/۹۳ درصد) در شرایط تنش

افزایش دهد. کاربرد پلی‌آمین روی برنج تحت تنش کم‌آبی باعث فعال‌سازی آنزیم‌های پاک‌سازی هیدروژن پراکسید شد و از این طریق، ضمن جلوگیری از تخریب پروتئین‌ها و پراکسیداسیون غشا، تحمل به کم‌آبی را افزایش داد (Farooq et al., 2009).

مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و نیترات کلسیم (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز (۳۰۷/۶۹۹ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم در تنش رطوبتی ۷۵٪ نیاز آبی به‌دست آمد. کمترین مقدار آنزیم پراکسیداز (۱۴۷/۴۷۴ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) عدم محلول‌پاشی نیترات کلسیم و تنش رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۲/۰۸ برابر افزایش نشان داد. در این پژوهش فعالیت آنزیم پراکسیداز با



جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و نیترات کلسیم برای آنزیم پراکسیداز و پایداری غشا

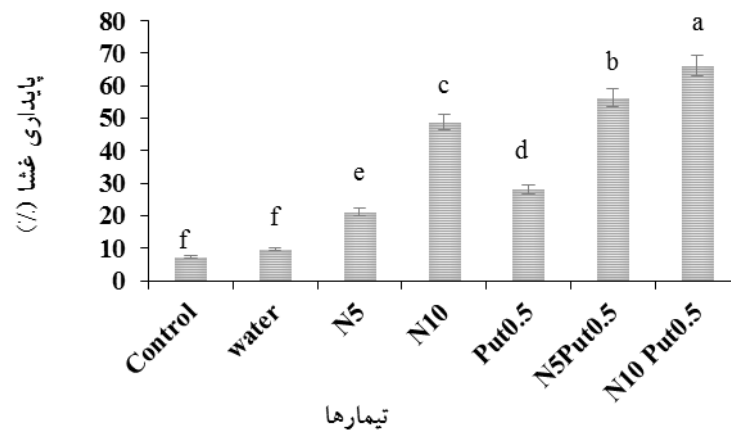
پایداری غشا	پراکسیداز	نیترات کلسیم	تنش رطوبتی
۱۴/۸۶ <sup>f</sup>	۱۷۷/۷۶ <sup>ef</sup>	۰	
۳۴/۲۹ <sup>d</sup>	۲۸۷/۷۵ <sup>ab</sup>	۵	۵۰
۴۷/۲۷ <sup>c</sup>	۲۴۲/۹۵ <sup>c</sup>	۱۰	
۱۹/۸۷ <sup>ef</sup>	۱۵۷/۱۱ <sup>fg</sup>	۰	
۳۱/۱۸ <sup>d</sup>	۲۸۳/۹۲ <sup>b</sup>	۵	۷۵
۵۷/۳ <sup>b</sup>	۳۰۷/۶۹ <sup>a</sup>	۱۰	
۲۱/۶۷ <sup>e</sup>	۱۴۷/۴۷ <sup>g</sup>	۰	
۵۰/۸۶ <sup>c</sup>	۱۹۵/۱۵۲ <sup>de</sup>	۵	۱۰۰
۶۷/۸۰ <sup>a</sup>	۲۰۶/۴۷ <sup>d</sup>	۱۰	

ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند.

نیترات کلسیم و مصرف پوترسین میزان پایداری غشا را در گیاه کنگد افزایش داد. به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نیترات کلسیم و پوترسین مقادیر قابل توجهی از این ترکیبات توسط سلول جذب و به دیواره و غشا آن متصل می‌شود. از این رو این ترکیبات باعث افزایش ثبات و پایداری سلول و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلول می‌شوند. پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان غیرفعال‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد عمل کرده و غشاهای سلولی را در برابر اکسید شدن حفظ کنند (Tassoni *et al.*, 1998) بدین ترتیب مقاومت غشا را افزایش دهند. برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین (جدول ۵) نشان داد که بیشترین مقدار پایداری غشا (۶۱/۳۱ درصد) در تنش رطوبتی ۱۰۰٪ نیاز آبی و با مصرف پوترسین به‌دست آمد. کمترین پایداری غشا (۲۱/۴۶ درصد) در تنش رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی و بدون مصرف پوترسین به‌دست آمد، به طوری که نسبت به کمترین مقدار ۲/۸ برابر افزایش نشان داد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقدار پایداری غشا در تیمار استفاده پوترسین در شرایط تنش رطوبتی ۱۰۰ درصد نیاز آبی افزایش یافت در حالی که چنین افزایشی در تیمار عدم مصرف پوترسین و تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی مشاهده نشد. پلی‌آمین‌ها با تأثیر خود بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش

رطوبتی ۱۰۰ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و حداقل مقدار پایداری غشا (۴/۰۷۷ درصد) در شرایط تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی، بدون محلول‌پاشی اختصاص یافت.

در شرایط تنش، محتویات بیشتری از سلول در اثر تخریب غشا به بیرون تراوش می‌کند. به نظر می‌رسد به‌علت تخریب غشاهای بیولوژیکی و غیرفعال شدن پروتئین‌های غشا در شرایط تنش، تولید انواع رادیکال‌های فعال اکسیژن در محیط سلول است که منجر به خسارت اکسیداتیو و کاهش پایداری غشای سلول می‌شود. در ارتباط با برهمکنش تنش رطوبتی و نیترات کلسیم و همین‌طور برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین در سطح احتمال ۱ درصد و برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین در سطح احتمال ۵ درصد بر آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ۴) نشان داد که با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱ و در صورت مصرف پوترسین باعث شد بیشترین پایداری غشا (۶۶/۱۸ درصد) به‌دست آمد. کمترین مقدار پایداری غشا (۹/۵۸ درصد) عدم محلول‌پاشی پوترسین و نیترات کلسیم به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۶/۹ برابر افزایش نشان داد بنابراین می‌توان در صورت محلول‌پاشی



شکل ۴- اثر تیمارهای اعمال شده بر روی میزان پایداری غشا. ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی دار نیست.

نیترا ت کلسیم ۱۰ میلی مولار =  $N_{10}$ ، نیترا ت کلسیم ۵ میلی مولار =  $N_5$ ، محلول پاشی با آب = Water، بدون محلول پاشی = Control، نیترا ت کلسیم ۱۰ میلی =  $N_{10} Put_{0.5}$ ، نیترا ت کلسیم ۵ میلی مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار =  $N_5 Put_{0.5}$ ، پوترسین ۰/۵ میلی مولار =  $Put_{0.5}$  مولار و پوترسین ۰/۵ میلی مولار

غشا جلوگیری کرده و به حفظ سلامتی غشاهای زیستی کمک می‌کنند کلسیم باعث افزایش محتوای کلسیم دیواره سلولی فرآورده‌ها می‌شوند (Manganaris et al., 2007). با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که کنگد در طی تنش رطوبتی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تأثیرات تنش را کاهش می‌دهد. بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با کاربرد هم‌زمان نیترا ت کلسیم و پوترسین مشاهده شد. تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان پایداری غشا شد که علت آن می‌تواند به افزایش رادیکال‌های آزاد و کاهش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و همچنین پراکسیداسیون لیپیدها در طی تنش رطوبتی نسبت داد. همچنین نتایج نشان داد نیترا ت کلسیم و پوترسین دارای تأثیرات متفاوت است ولی در بیشتر صفات اندازه‌گیری شده استفاده هم‌زمان از نیترا ت کلسیم و پوترسین بیشترین تأثیر را داشت که می‌تواند علت آن به استفاده هم‌زمان از نیترا ت کلسیم و پوترسین و بالارفتن کارایی گیاه در استفاده از کلسیم و پلی‌آمین نسبت داد.

گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و به تبع آن حفظ ثبات غشا، باعث کاهش میزان نشت یونی می‌گردند. پلی‌آمین‌ها با اتیلن بر سر یک پیش‌ماده مشترک به نام SAM (S - آدنوزین متیونین) رقابت می‌کنند و در واقع پلی‌آمین‌ها با کاهش تولید اتیلن از اثرات مرتبط با اتیلن از جمله پیری، تجزیه کلروفیل، زوال غشا و افزایش فعالیت پروتئاز جلوگیری می‌کنند (Evans and Malmberg, 1989). مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و نیترا ت کلسیم (جدول ۶) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار پایداری غشا (۶۷/۸۰ درصد) در صورت محلول‌پاشی نیترا ت کلسیم در ۱۰۰٪ نیاز آبی به دست آمد. کمترین مقدار پایداری غشا (۱۴/۸۶ درصد) عدم محلول‌پاشی نیترا ت کلسیم و تنش رطوبتی ۵۰٪ نیاز آبی به دست آمد؛ که نسبت به کمترین مقدار ۳/۱۲ برابر افزایش نشان داد. در این پژوهش مقدار پایداری غشا با محلول‌پاشی نیترا ت کلسیم افزایش یافتند. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان این گونه بیان نمود که کلسیم با داشتن بار مولکولی و اتصال به غشا باعث پایداری آنها می‌شوند و با این کار از اتصال رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن به

## منابع

- بهروز، ز. و شیرزادی، م. ح. (۱۳۸۸) اثر تراکم کاشت و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد کنگد رقم محلی جیرفت. مجله یافته‌های نوین کشاورزی ۲: ۹۹-۹۱.
- حاجی بلند، ر. و ابراهیمی، ن. (۱۳۹۰) تأثیر پلی‌آمین‌های اگزوزن بر رشد، فتوسنتز و متابولیسم فنل‌ها در گیاه توتون تحت تنش شوری. مجله زیست‌شناسی گیاهی ۸: ۲۶-۱۳.
- خواججه‌پور، م. ر. (۱۳۸۳) گیاهان صنعتی. چاپ چهارم، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان.
- شمس، ه. (۱۳۸۸) تغییرات کمی و کیفی اندام هوایی گل گاوزبان در اثر محلول‌پاشی نیترات کلسیم. فصلنامه گیاهان دارویی ۸: ۱۴۴-۱۳۸.
- Alcazar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrano, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. F. and Altabella, T. (2006) Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology Letters* 28: 1867-1876.
- Apel, K. and Hirt, H. (2004) Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 375-399.
- Bakry, C., El-Hariri, B. Sh., Sadak, D. and El-Bassiouny, M. (2012) Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under newly reclaimed sandy soil. *Journal of Applied Science Research* 8: 3503-3514.
- Delian, E., Chira, A., Badulescu, L. and Chira, L. (2014) Calcium alleviates stress in plants: insight into regulatory mechanisms. *Agro Life Science Journal* 3: 19-28.
- Duan, J. L., Juan, G., Shirong, Y. and Kang, L. (2007) Exogenous spermidine affects polyamine metabolism in salinity stressed (*Cucumis sativus*) roots and enhances short-term salinity tolerance. *Journal of Plant Physiology* 165: 1620-1635.
- El-Tohamy, W. A., El-Abagy, H. M. and El-Greadly, N. H. M. T. (2008) Studies on the effect of putrescine, yeast and vitamin C on growth, yield and physiological responses of eggplant (*Solanum melongena* L.) under sandy soil conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Science* 2: 296-300.
- Erinle, K. O., Jiang, Z., Ma, B., Li, J., Chen, Y., Ur-Rehman, K., Shahla, A. and Zhang, Y. (2016) Exogenous calcium induces tolerance to atrazine stress in pennisetum seedlings and promotes photosynthetic activity, antioxidant enzymes and psbA gene transcripts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 132: 403-412.
- Evans, P. T. and Malmberg, R. L. (1989) "Do polyamines have roles in plant development?" *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology* 40: 235-241.
- Fanaee, H., Kafee, M. and Shiranizadeh, A. (2013) Interaction of water and potassium deficiency stress on potassium, calcium, magnesium and oil control of two species of rapeseed and mustard. *Water and Soil Science* 23: 261-275.
- Farooq, M., Wahid, A. and Lee, D. J. (2009) Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum* 31: 937-945.
- Feller, R. E., Feller, D. A. and Shepherd, A. D. (1969) Determination of free lysine and methionine in amino acid-fortified wheat. *Cereal Chemistry* 46: 614-620.
- Ibrahim, M. F. M., Faisal, A. and Shehata, S. A. (2016) Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 16: 677-693.
- Karo, M. and Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activity during rice leaf senescence. *Plant Physiology* 57: 315-319.
- Lilio, E. E. and Kyriakidis, D. A. (2004) "The role of bacterial enzyme: from an inhibitory protein to Atoc transcript regulator". *Microbiolcals Factories. Com*
- Liu, J. H. K., Nada, C., Honda, H., Kitashiba, X. P., Wen, X., Pang, M. and Moriguchi, T. (2006) Polyamine biosynthesis of apple callus under salt stress: Importance of arginine decarboxylase pathway in stress response. *Journal Experimental Botany Abbreviation* 57: 2589-2599.
- Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G. and Mignani, I. (2007) "The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits". *Food Chemistry* 4: 1385-1392.
- Oztruk, L. and Dmir, Y. (2003) Effects of putrescine and ethephon on some oxidative stress enzyme activities and proline content in salt stressed spinach leaves. *Plant Growth Regulation* 40: 89-95.
- Penel, C., Van Cutsem, P. and Greppin, H. (1999) Interactions of a plant peroxidase with oligogalacturonides in the presence of calcium ions. *Photochemistry Journal Elsevier* 51: 193-8.

- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal Plant Physiology* 161: 1189-1202.
- Seneoka, H., Moghaieb, R. E. A., Premachandra, G. S. and Fujita, K. (2004) Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in (*Agrostis palustris*) Huds. *Environmental and Experimental Botany Journal* 52: 131-138.
- Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F. and Schepers, J. S. (2005) Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal* 97: 106-112.
- Shao, H. B., Song, W. Y. and Chu, L. Y. (2008) "Advances of calcium signals involved in plant anti-drought". *Comptes Rendus Biologies* 331: 587-596.
- Saw, I. (2004) *The oxford history of ancient Egypt*. United Kingdom.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A. and Giridara kumar, S. (2001) Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Mours alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science* 167: 613-619.
- Takahama, U. and Takayuki, O. (1997) A peroxidase/phenolic/ascorbate system can scavenge hydrogen peroxide in plant cells. *Physiologia Plantarum* 101: 845-852.
- Tan, W., Meng, Q. W., Brestic, M., Olsovska, K. and Yang, X. H. (2011) Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. *Journal of Plant Physiology* 168: 2063-2071.
- Tang, W. and Newton, J. R. (2005) Polyamines reduced salt induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in virginia pine. *Plant Growth Regulation* 46: 31-43.
- Tassoni, A., Antognoni, F., Battistini, M. L., Sanvido, O. and Bagni, N. (1998) Characterization of spermidine binding to solubilized plasma membrane proteins from zucchini hypocotyls. *Plant Physiology* 117: 971-977.
- Wang, Y. (2007) *Boron Nutrition and Boron Application in Crop*. Springer.
- Yang, S., Wang, F., Guo, F., Meng, J. J., Li, X. G. and Wan, S. B. (2015) Calcium contributes to photo protection and repair of photosystem II in peanut leaves during heat and high irradiance. *Journal of Integrative Plant Biology* 57: 486-495.
- Yeganehpoor, F., Zehtab-salmasi, S., Ghassemi-golezani, K., Shafagh-kolvanagh, J. and Dastborhan, S. (2017) The impact of nitro kara and salicylic acid on proline content and essential oil composition of coriander under different water supply. *American Journal of Essential Oils and Natural Products* 5: 32-40.
- Yiu, J. C., Liu, C. W., Fang, D. Y. T. and Lai, Y. S. (2009) "Waterlogging tolerance of Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) enhanced by exogenous spermidine and spermine". *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 710-716.

## Effect of putrescin and calcium nitrate on the activity of some antioxidant enzymes and cell membrane stability in sesame (*Seasamum indicum* L.) under moisture stress

Samira Gholipour, Gholam Reza Zamani<sup>\*</sup>, Majid Jami Alahmadi

Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University  
(Received: 16/09/2019, Accepted: 14/12/2019)

### Abstract

In order to study the effects of application of putrescin and calcium nitrate on some physiological and biochemical traits of sesame under moisture stress, a split-plot factorial experiment was conducted based on block complete randomized design with three replications in research farm of University of Birjand in 2018. In this experiment, moisture stress treatments with three levels included (100, 75, and 50) percent of sesame water requirement as main factor and foliar application calcium nitrate at three levels (0, 5, 10 Mm) and putrescine in two levels (0.5Mm, spray with water) as the second factor were studied. Results showed that interaction of moisture stress, calcium nitrate and putrescine were significant for catalase and polyphenol oxidase activity. The highest catalase activity was obtained in 10 Mm calcium nitrate foliar application at 50% humidity stress and highest activity of polyphenol oxidase enzyme was obtained in 5 Mm calcium nitrate foliar application with 75% of putrescine. Interaction of calcium nitrate and putrescine, moisture stress and putrescine as well as moisture stress and calcium nitrate on peroxidase enzyme and membrane stability were significant. In general, foliar application of calcium nitrate and putrescine was the best treatment to reduce the effects of moisture stress on sesame indicating that there is a synergistic relationship between them in reducing the effects of moisture stress.

**Keywords:** Active species of oxygen, Catalase, Foliar solution, Peroxidase, Polyphenol oxidase