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

به‌منظور بررسی اثرات کاربرد پوترسین و نیترات کلسیم بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کنجد تحت تنش رطوبتی آزمایشی به‌صورت 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 به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و۱۰ میلی‌مولار و پوترسین در دو سطح (۰/۵ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با آب) به‌عنوان 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٪ به‌دست آمد. بیشترین مقدار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین در تنش رطوبتی ۷۵٪ نیاز آبی به‌دست 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. به‌طور 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

Seasamum indicum از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است و به‌علت داشتن روغن با کیفیت، پروتئین و آنتی‌اکسیدان به‌طور گسترده‌ای در تهیه غذا و دارو استفاده می‌شود (Wang, 2007). تحمل خوبی به خشکی و گرما دارد و در انواع خاک‌ها به‌خوبی 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 رطوبتی بسیار حساس است (خواجه‌پور، 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.

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

گیاهان برای کاهش اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال که تحت تأثیر تنش رطوبتی تولید می‌شوند، مکانیسم‌های متفاوتی دارند ازجمله این مکانیسم‌ها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Yeganeh poor *et al*., 2017). کلسیم به‌عنوان 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 بین‌بردن 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 به‌وسیله 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 (تراآمین) هستند؛ که توسط پلی‌آمین اکسیداز با اکسیدکردن آمین‌های استیله‌شده باعث تبدیل پلی‌آمین‌های برتر (اسپرمین، اسپرمیدین، پوترسین) به پلی‌آمین‌های کوچک‌تر می‌شوند (Lilio and Kyrriakidis, 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 گلوتاتیون 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 تحقیق با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کنجد تحت تنش رطوبتی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند روی گیاه کنجد انجام گرفت. آزمایش به‌صورت 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 به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی نیترات کلسیم در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ میلی‌مولار و محلول‌پاشی با پوترسین در دو سطح (صفر و ۰/۵ میلی‌مولار) به‌عنوان فاکتور فرعی بود. علاوه بر این در هر کرت اصلی یک کرت فرعی به‌عنوان 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 کنجد 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 کنجد انجام گرفت. محلول‌پاشی با پوترسین و نیترات 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). به‌منظور کاهش تبخیر و جذب بیشتر، محلول‌پاشی یک ساعت قبل از غروب آفتاب انجام شد. نیاز آبی گیاه براساس میزان آب مورد نیاز کنجد با استفاده از نرم‌افزار (CROPWAT) در شرایط بیرجند تعیین شد. حجم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

جدول ١- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ٣٠-٠ سانتی‌متری خاک

بافت	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کلسیم	رطوبت اشباع	درصد ماده آلی	pH	هدایت الکتریکی
	(Meq/lit)				٪	٪		(dS/m^{-1})
شنی لومی	٤/٤	١١	٢/١٥	٥	٢٤/٥	٠/٣٨	٨	٥/٢

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 (٢٠٠١) و فعالیت آنها به روش Karo و Mishra (١٩٧٦) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری پایداری غشا: با استفاده از روش Saneoka (٢٠٠٤) اندازه گرفته شد.

درصد آسیب غشا = $\{(1-T_1/T_2) / (1-c_1/c_2)\}\times100$

درصد آسیب غشا -١- درصد پایداری غشا (MSI)

T_1 و T_2 به‌ترتیب EC نمونه قبل و بعد از اتوکلاو و C_1 و C_2 به‌ترتیب EC نمونه شاهد قبل و بعد از اتوکلاو است. تجزیه آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS9.3،Macro مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح ٥ درصد انجام شد. رسم نمودارها با استفاده از Excel 2013 صورت گرفت.

نتایج و بحث

آنزیم کاتالاز: مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری ١٨ گانه با شاهد نشان داد که تمامی تیمارهای اعمال‌شده به‌استثنا محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد دارای آنزیم کاتالاز بیشتری بودند (جدول ٢). حداکثر آنزیم کاتالاز (١٧٠/٣٤٩٦ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ٥٠ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ١٠ و با مصرف پوترسین ٠/٥ میلی‌مولار و حداقل میزان آنزیم کاتالاز (١٤/٣١٢ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ٥٠ درصد نیاز آبی عدم‌محلول‌پاشی به‌دست 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 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 ١ درصد بر آنزیم کاتالاز معنی‌دار است (شکل ١).

نشان داده شد که در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم ١٠ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین و بالاترین سطح تنش رطوبتی ٥٠ درصد نیاز آبی بیشترین میزان (١٧٠/٣٤٩ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) آنزیم کاتالاز به‌دست آمد. کمترین مقدار آنزیم کاتالاز (١٥/١٥ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در صورت محلول‌پاشی با آب در کمترین سطح تنش رطوبتی ١٠٠ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ١١/٢ برابر افزایش نشان داد بدین صورت که در تنش رطوبتی ٥٠ و ٧٥ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ١٠ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین و در تنش رطوبتی ٧٥ و ١٠٠ درصد نیاز آبی و با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ٥ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین بیشترین آنزیم کاتالاز را به‌همراه داشت (جدول ٣).

به‌نظر 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 واردشدن آسیب‌های اکسیداتیو به سلول‌ها و افزایش تحمل به کم‌آبی در کنجد 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 بین‌بردن گونه‌های اکسیژن فعال، موجب بهبود فتوسنتز گیاه در شرایط تنش‌های محیطی

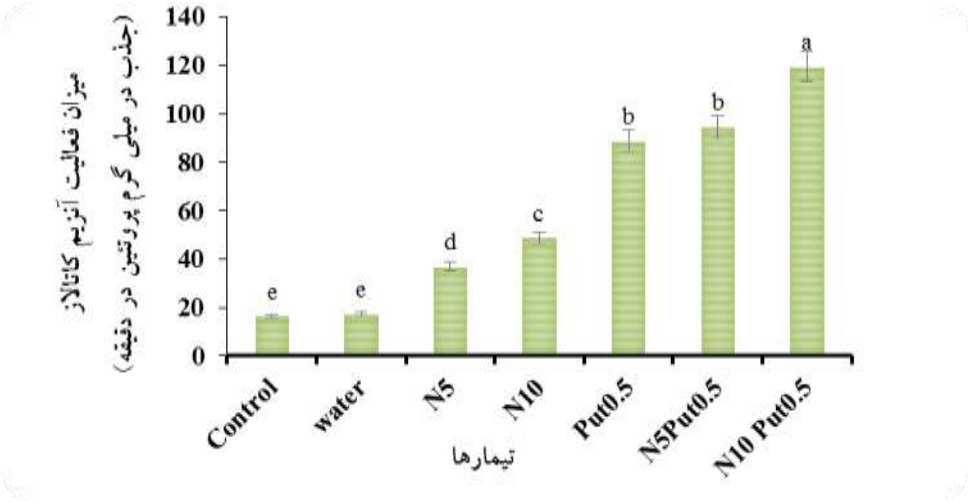
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

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

منابع تغییر	درجه آزادی	کاتالاز	پلی‌فنل اکسیداز	پراکسیداز	پایداری غشا
بلوک	۲	۲۱/۹۵ns	۸۲/۷۷ns	٤۰/۳۰٥ns	۹/۳۱ns
تنش رطوبتی	۲	۱٦٥۹۳/٦۸**	٥۰۹٦/٥۹	۲۲۲۲۹۳/٤۳**	۱۰۳۱/۲**
خطای (الف)	٤	۱۱۰/٤۹	۲۲۳/٤۲	٥٦۱/۹٤	۲۳/٥٥
محلول‌پاشی نیترات کلسیم	۲	٤۳۸٤/۹۱**	۷۸٤٦/۲۲**	٥۲۱۷۷/٦٦**	٦۷۲٥/۹۸**
محلول‌پاشی پوترسین	۱	٥۹۹۹۱/٤٥**	۷٥٥۸/٦٥**	٥۷٥۲۹/٤۲**	۷٥۹۱/٥۱**
تنش × نیترات کلسیم	٤	۳٦۱٥/۱**	۳۲۰/۱٤**	٥٦۹۲/٦۰**	۱۷۳/۷۳**
تنش × پوترسین	۲	٤٦۰٤/۱۲**	٦۳۷/۱٥**	۱٥٤٤/۲۳**	۹۷/۳
نیترات کلسیم × پوترسین	۲	۳٦۱٥/۱ns	۱۹۸/۲۱	۷٤٤۹/۷۳*	٤٤۸/۸٦**
تنش × نیترات× پوترسین	٤	۸٤۰/۸۷**	۲۰۷/۰۷*	۱۰۳۹/۹٥ns	٥۲/٥٤ ns
خطای (ب)	۳۰	۸۳/۲٤	٥۹/۸۹	۳۹۷/٤٦	۱۹/۸٤
ضریب تغییرات	_	۱۳/٤۸	۹/۱۸	۸/۹٤	۱۱/٦۱

*** و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ٥ درصد، ۱ درصد و ns معنی‌دار نیست.**



شکل ۱- اثر تیمارهای اعمال‌شده بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز. **اختلاف ستون‌هایی که دارای حروف الفبایی مشابه هستند ازلحاظ آماری در سطح احتمال ٥ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.**

، نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار = N_{10} ، نیترات کلسیم ٥ میلی‌مولار = N_5 ، محلول‌پاشی با آب = Water ، بدون محلول‌پاشی = Control
نیترات کلسیم ۱۰ میلی-= N_{10} $Put_{0.5}$ ، نیترات کلسیم ٥ میلی‌مولار و پوترسین ۰/٥ میلی‌مولار = N_5 $Put_{0.5}$ ، پوترسین ۰/٥ میلی‌مولار = $Put_{0.5}$
مولار و پوترسین ۰/٥ میلی‌مولار

می‌شود (Tan *et al.*, 2011). همچنین محلول‌پاشی برگی پلی‌آمین‌ها به‌علت توانایی آنها به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد، قادر به تعدیل‌نمودن متابولیسم گیاه و تولید متابولیت‌های درگیر در تحمل به تنش هستند (Takahama and Takayuki, 1997).

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز: نتایج مقایسه میانگین تیمارها با شاهد نشان داد که تمامی تیمارهای اعمال‌شده به‌استثنا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

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

تنش رطوبتی	نیترات کلسیم	پوترسین	کاتالاز (تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)	پلی‌فنل اکسیداز (تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه)
٪۵۰	۰	عدم‌مصرف	۱۷/۰٦ h(e)	٥٤/٤۰ ghi(c)
		مصرف	۱۳۷/٦۷ b(b)	۷٦/۱۰ ef(c)
	۵	عدم‌مصرف	۲۹/٦٤ fgh(d)	۸٤/۹۸ de(c)
		مصرف	۹۱/۷۸ c(c)	۱۱۱/٦۷ b(a)
	۱۰	عدم‌مصرف	۸۸/٦۲ c(c)	۹٦/٥٦ cd(bc)
		مصرف	۱۷۰/۳٤ a(a)	۹٦/۱۱ cd(ab)
٪۷۵	۰	عدم‌مصرف	۱۹/۷۸ gh(c)	٤۹/٦٤ hi(e)
		مصرف	۸٦/۹۱ c(b)	۸۵/۰۹ de(d)
	۵	عدم‌مصرف	٦۵/٤۸ d(b)	۹۲/۰۷ cd(cd)
		مصرف	۱۳۹/۹۰ b(a)	۱۲۹/۲۲ a(b)
	۱۰	عدم‌مصرف	۳٤/۳٤ fg(c)	۱۰۱/۵۹ bc(c)
		مصرف	۱۳۸/۵۸ b(a)	۱٤۱/۱۰ a(a)
٪۱۰۰	۰	عدم‌مصرف	۱۵/۱۵ h(c)	٤٦/۷۳ i(e)
		مصرف	٤۱/۹۸ ef(b)	٤۹/۲۷ hi(d)
	۵	عدم‌مصرف	۱۵/۵٤ h(c)	٦۰/۹٤ gh(c)
		مصرف	۵۱/۹٦ de(a)	۹۱/۰۸ cd(a)
	۱۰	عدم‌مصرف	۲۳/۲۱ gh(c)	٦۵/۰۱ fg(b)
		مصرف	٤۹/٦۷ e(ab)	۸۵/۲٤ de(b)

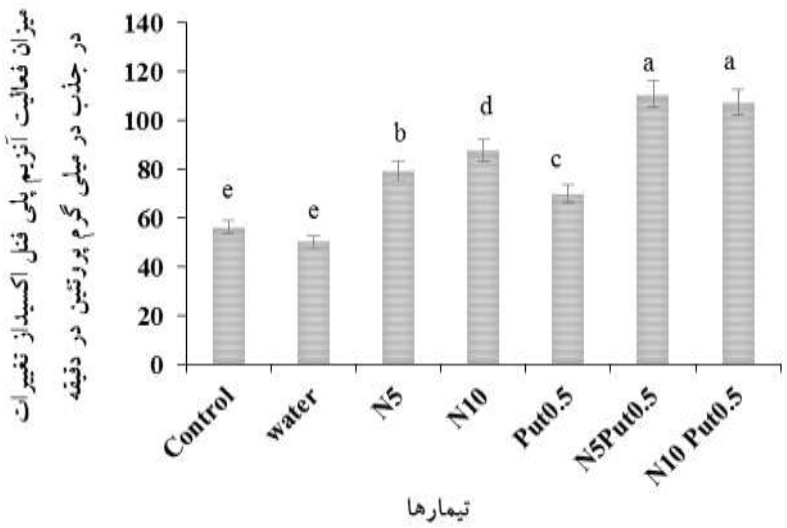
ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند. حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد دارای آنزیم پلی‌فنل اکسیداز بیشتری بودند (شکل ۲). حداکثر مقدار آنزیم پلی‌فنل 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 پلی‌فنل اکسیداز (٤٦/۷۳ 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 پلی‌فنل اکسیداز معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (۱٤۱/۱۰ 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 پلی‌فنل اکسیداز (٤٦/۷۳ 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 و۱۰۰ درصد نیاز آبی محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۰/۵ میلی-مولار و با مصرف پوترسین و تنش رطوبتی ۷۵ درصد نیاز آبی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]



شکل ۲- اثر تیمارهای اعمال‌شده بر روی میزان آنزیم پلی‌فنل اکسیداز. ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند.

Control = بدون محلول‌پاشی ، Water = محلول‌پاشی با آب ، N_5 = نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار ، N_{10} = نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار ، $Put_{0.5}$ = پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار ، N_5 $Put_{0.5}$ = نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار ، N_{10} $Put_{0.5}$ = نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار

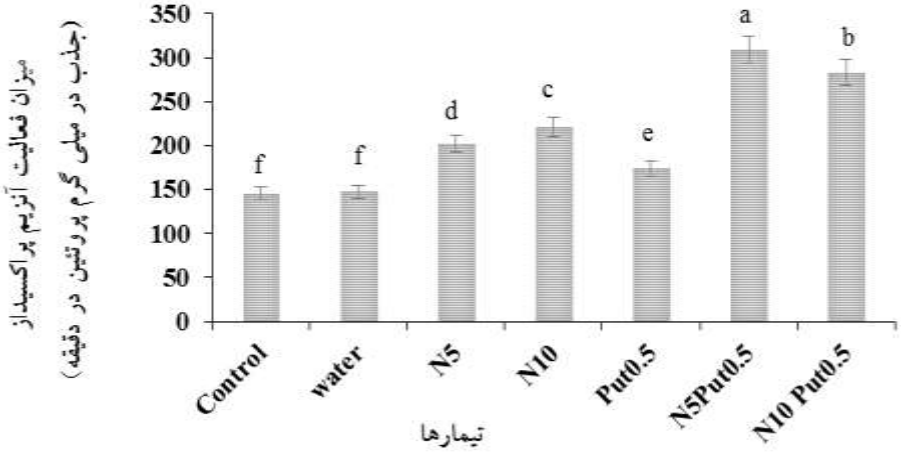
نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و با مصرف پوترسین بیشترین مقدار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را به‌همراه داشت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کاربرد نیترات کلسیم و پوترسین در گیاه کنجد باعث فعالیت آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل شده است که به‌نوبه خود گیاهان را در برابر تولید ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) و پراکسیداسیون لیپیدی حفاظت می‌کند. کاربرد نیترات کلسیم و پوترسین موجب افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شد. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین نقش آنتی‌اکسیدانی ایفا کرده و سلول‌های برگ کنجد را از صدمه واکنش‌های اکسیداتیو محافظت نموده است. براساس مطالعات دیگری سطوح بالای پلی‌آمین موجب افزایش مقاومت به تنش‌های غیرزنده شده و به‌طور مستقیم به‌عنوان 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 اعمال‌شده به‌استثنا محلول‌پاشی با آب نسبت به شاهد دارای آنزیم پراکسیداز بیشتری بودند (شکل ۳). حداکثر مقدار آنزیم پراکسیداز (۳٦۷/۰۲ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۵۰ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۱۰ و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار و حداقل میزان آنزیم پراکسیداز (۱۳۵/۰٤ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) در شرایط تنش رطوبتی ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بدون محلول‌پاشی اختصاص یافت. فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط عدم محلول‌پاشی و مصرف پوترسین به‌شدت کاهش یافت، اما با کاربرد نیترات کلسیم و پوترسین، فعالیت این آنزیم‌ها به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت.

تنش رطوبتی، موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر و درنتیجه افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود. آنزیم پراکسیداز نقش بسیار مهمی در غیرفعال‌کردن 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 نیترات کلسیم و همین‌طور

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]



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

Control = بدون محلول‌پاشی ، Water = محلول‌پاشی با آب ، N_5 = نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار ، N_{10} = نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار ، N_{10} $Put_{0.5}$ = نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار ، N_5 $Put_{0.5}$ = نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار ، $Put_{0.5}$ = پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار

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 ٤) نشان داد که با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ۵ و در صورت مصرف پوترسین باعث شد بیشترین آنزیم پراکسیداز (۳۰۹/۳٦ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) به‌دست آمد. کمترین مقدار اسیدآمینه پراکسیداز (۱٤۷/٦۲۵ تغییرات در جذب در میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) محلول‌پاشی با آب به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ۲/۰۹ برابر افزایش نشان داد.

بنابراین می‌توان در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین میزان پراکسیداز را در گیاه کنجد افزایش داد؛ این‌طور به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین از لحاظ سطوح فعالیت آنزیم پراکسیداز موجب شکسته‌شدن هیدروژن پراکسید در سلول خواهد شد و درنتیجه از تولید گونه‌های فعال اکسیژنی جلوگیری می‌کند و بنابراین افزایش فعالیت این آنزیم در شرایط تنش می‌تواند موجب افزایش تحمل به تنش در گیاه کنجد شود. کاربرد پلی‌آمین‌های خارجی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را همراه با پرولین افزایش دادند (Ozturk and Demir, 2003). کلسیم به‌طور غیرمستقیم موجب فعال‌شدن 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 میلی‌گرم 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 (۱٦۰/۳۷۱ تغییرات در جذب در میلی‌گرم 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 عدم‌مصرف پوترسین مشاهده نشد درنتیجه با مصرف پوترسین از پر اکسیداسیون لیپیدها و تخریب ماکرومولکول‌ها جلوگیری کرده و تحمل به تنش رطوبتی را

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین برای آنزیم پراکسیداز و پایداری غشا

پوترسین	نیترات کلسیم	پراکسیداز	پایداری غشا
عدم‌مصرف	۰	۱٤۷/٦۲ f	۹/۵۸ f
مصرف		۱۷۳/۹۳ e	۲۸/۰۳ d
عدم‌مصرف	۵	۲۰۱/۸٦ d	۲۱/۱٦ e
مصرف		۳۰۹/۳٦ a	۵٦/۳۹ c
عدم‌مصرف	۱۰	۲۲۱/۳۵ c	٤۸/۷۳ c
مصرف		۲۸۳/۹۳ b	٦٦/۱۸ a

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

پوترسین	تنش رطوبتی	پراکسیداز	پایداری غشا
عدم‌مصرف	۵۰	۱۹۵/۱۹ c	۲۱/٤٦ e
مصرف		۲۷۷/۱۲ a	٤۲/۸۱ b
عدم‌مصرف	۷۵	۲۱۵/۲۸ b	۲۵/۷٦ d
مصرف		۲۸۳/۸۷ a	٤٦/٤۸ b
عدم‌مصرف	۱۰۰	۱٦۰/۳۷ d	۳۲/۲٤ c
مصرف		۲۰۵/٦۹ bc	٦۱/۳۱ a

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

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 ٦) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز (۳۰۷/٦۹۹ 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 (۱٤۷/٤۷٤ 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 محلول‌پاشی نیترات کلسیم افزایش یافت که به‌نظر می‌رسد یکی از مکانیسم‌های گیاه در مقابله با خشکی افزایش فعالیت این آنزیم است. کلسیم از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و از بین‌بردن 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 ٤). حداکثر مقدار پایداری غشا (۷٦/۹۳ درصد) در شرایط تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش تنش رطوبتی و نیترات کلسیم برای آنزیم پراکسیداز و پایداری غشا

تنش رطوبتی	نیترات کلسیم	پراکسیداز	پایداری غشا
٥٠	٠	١٧٧/٧٦ ef	١٤/٨٦ f
	٥	٢٨٧/٧٥ ab	٣٤/٢٩ d
	١٠	٢٤٢/٩٥ c	٤٧/٢٧ c
٧٥	٠	١٥٧/١١ fg	١٩/٨٧ ef
	٥	٢٨٣/٩٢ b	٣١/١٨ d
	١٠	٣٠٧/٦٩ a	٥٧/٣ b
١٠٠	٠	١٤٧/٤٧ g	٢١/٦٧ e
	٥	١٩٥/١٥٢ de	٥٠/٨٦ c
	١٠	٢٠٦/٤٧ d	٦٧/٨٠ a

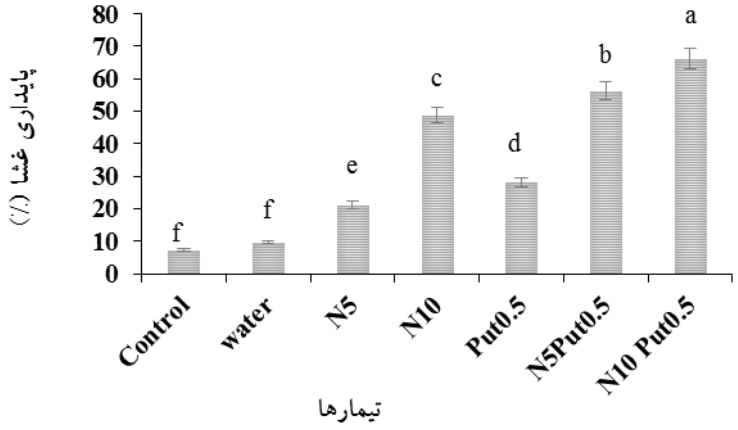
ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح حداقل ٥ درصد (LSD) معنی‌دار نیستند.

رطوبتی ١٠٠ درصد نیاز آبی با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ١٠ و پوترسین ٠/٥ میلی‌مولار و حداقل مقدار پایداری غشا (٤/٠٧٧ درصد) در شرایط تنش رطوبتی ٥٠ درصد نیاز آبی، بدون محلول‌پاشی اختصاص یافت.

در شرایط تنش، محتویات بیشتری از سلول در اثر تخریب غشا به بیرون تراوش می‌کند. به‌نظر می‌رسد به‌علت تخریب غشاهای بیولوژیکی و غیرفعال‌شدن 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 ١ درصد و برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین در سطح احتمال ٥ درصد بر آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بودند (جدول ٢). مقایسه میانگین برهمکنش نیترات کلسیم و پوترسین (جدول ٤) نشان داد که با محلول‌پاشی نیترات کلسیم ١ و در صورت مصرف پوترسین باعث شد بیشترین پایداری غشا (٦٦/١٨ درصد) به‌دست آمد. کمترین مقدار پایداری غشا (٩/٥٨ درصد) عدم‌محلول‌پاشی پوترسین و نیترات کلسیم به‌دست آمد که نسبت به کمترین مقدار ٦/٩ برابر افزایش نشان داد بنابراین می‌توان در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم و مصرف پوترسین میزان پایداری غشا را در گیاه کنجد افزایش داد. به‌نظر 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 این‌رو 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 اکسیده شدن حفظ کنند (Tassoni *et al.*, 1998) بدین ترتیب مقاومت غشا را افزایش دهند. برهمکنش تنش رطوبتی و پوترسین (جدول٥) نشان داد که بیشترین مقدار پایداری غشا (٦١/٣١ درصد) در تنش رطوبتی ١٠٠٪ نیاز آبی و با مصرف پوترسین به‌دست آمد. کمترین پایداری غشا (٢١/٤٦ درصد) در تنش رطوبتی ٥٠٪ نیاز آبی و بدون مصرف پوترسین به‌دست آمد، به‌طوری که نسبت به کمترین مقدار ٢/٨ برابر افزایش نشان داد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقدار پایداری غشا در تیمار استفاده پوترسین در شرایط تنش رطوبتی ١٠٠ درصد نیاز آبی افزایش یافت در حالی که چنین افزایشی در تیمار عدم‌مصرف پوترسین و تنش رطوبتی ٥٠ درصد نیاز آبی مشاهده نشد. پلی‌آمین‌ها با تأثیر خود بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]



شکل ٤- اثر تیمارهای اعمال‌شده بر روی میزان پایداری غشا. ستون‌های دارای حروف الفبایی مشابه از لحاظ آماری در سطح احتمال ۵ درصد (LSD) معنی‌دار نیست.

Control = بدون محلول‌پاشی ، Water = محلول‌پاشی با آب ، N_5 = نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار ، N_{10} = نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار ، N_5 $Put_{0.5}$ = نیترات کلسیم ۵ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار ، N_{10} $Put_{0.5}$ = نیترات کلسیم ۱۰ میلی‌مولار و پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار ، $Put_{0.5}$ = پوترسین ۰/۵ میلی‌مولار

گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و به‌تبع 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 نیترات کلسیم (جدول ٦) نشان می‌دهد که بیشترین مقدار پایداری غشا (٦٧/٨٠ درصد) در صورت محلول‌پاشی نیترات کلسیم در ١٠٠٪ نیاز آبی به‌دست آمد. کمترین مقدار پایداری غشا (١٤/٨٦ درصد) عدم‌محلول‌پاشی نیترات کلسیم و تنش رطوبتی ٥٠٪ نیاز آبی به‌دست آمد؛ که نسبت به کمترین مقدار ٣/١٢ برابر افزایش نشان داد. در این پژوهش مقدار پایداری غشا با محلول‌پاشی نیترات کلسیم افزایش یافتند. با توجه به مطالب ذکرشده 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 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 کنجد در طی تنش رطوبتی با فزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تأثیرات تنش را کاهش می‌دهد بیشترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان با کاربرد هم‌زمان نیترات کلسیم و پوترسین مشاهده شد. تنش کم‌آبی سبب کاهش میزان پایداری غشا شد که علت آن می‌توان به افزایش رادیکال‌های آزاد و کاهش میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و همچنین پراکسیداسیون لیپیدها در طی تنش رطوبتی نسبت داد. همچنین نتایج نشان داد نیترات کلسیم و پوترسین دارای تأثیرات متفاوت است ولی در بیشتر صفات اندازه‌گیری‌شده استفاده هم‌زمان از نیترات کلسیم و پوترسین بیشترین تأثیر را داشت که می‌تواند علت آن به استفاده هم‌زمان از نیترات کلسیم و پوترسین و بالارفتن کارایی گیاه در استفاده از کلسیم و پلی‌آمین نسبت داد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

منابع

بهروز، ز. و شیرزادی، م. ح. (۱۳۸۸) اثر تراکم کاشت و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد کنجد رقم محلی جیرفت. مجله یافته‌های نوین کشاورزی ۲: ۹۹-۹۱.

حاجی بلند، ر. و ابراهیمی، ن. (۱۳۹۰) تأثیر پلی‌آمین‌های اگزوژن بر رشد، فتوسنتز و متابولیسم فنل‌ها در گیاه توتون تحت تنش شوری. مجله زیست‌شناسی گیاهی ۸: ۲٦-۱۳.

خواجه‌پور، 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: ۱٤٤-۱۳۸.

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 Kyrriakidis, 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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]

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*, 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 tree levels included (100, 75, and 50) percent of sesame water requirement as main factor and foliar application calcium nitrate at tree 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 putrecine 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, Peroxidas, Polyphenol oxidase

Corresponding author, Email: gzamani@birjand.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-12-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.26.9]