مقاله پژوهشی

بررسی پیش‌تیمار اسپرمین بر برخی پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی کدو (*Cucurbita pepo* L.) تحت تنش شوری

فاطمه نژادعلیمرادی[1*]، فاطمه نصیبی[2]

[1] گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

[2] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۱/۳۰، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۷/۱۹)

چکیده

اسپرمین (Spm)، گروهی از ترکیبات پلی‌آمینی واجد چهار گروه نیتروژن (تترااَمین) و با ظرفیت بافری بیشتری است که قادر به افزایش سیستم دفاعی گیاه در برابر بسیاری از تنش‌ها می‌باشد. در این تحقیق که در سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته انجام شد، اثرات محافظتی پیش‌تیمار Spm بر تخفیف تنش شوری در گیاه کدو (*Cucurbita pepo* L.) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، Spm در سه سطح صفر، ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار به مدت پنج روز قبل از اعمال تنش به محیط‌کشت هیدروپونیک اضافه شد. تیمار شوری (NaCl) در سه سطح صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار اعمال شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داده که تنش شوری به‌طور قابل‌توجهی پارامترهای رشد (وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه)، محتوای آب برگ (RWC)، مقدار پروتئین را کاهش و پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یونی را افزایش داد. علاوه بر این مقدار پرولین، گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، گایاکل پراکسیداز (GPOX) و آسکوربات پراکسیداز (APX) تحت تنش شوری افزایش یافت. پیش‌تیمار با Spm موجب بهبود رشد و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش شوری گردید. Spm با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی (SOD، CAT، GPOX، APX)، مقدار پرولین و GABA موجب کاهش تنش اکسیداتیو، پراکسیداسیون لیپیدها، نشت یونی و در نهایت افزایش پارامترهای رشدی گردید؛ بنابراین، پیش‌تیمار Spm به عنوان یک استراتژی کارآمد برای بهبود رشد گیاه و افزایش تحمل کدو در برابر تنش شوری پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: اسپرمین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش شوری، گاما آمینوبوتیریک اسید

مقدمه

تنش شوری یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده رشد و تولید گیاه در بسیاری از مناطق جهان جمله ایران است (Fang *et al.*, 2021; Quintero *et al.*, 2011). شوری می‌تواند رشد گیاه را از طریق اختلال تنش اسمزی و یونی، تولید تنش اکسیداتیو و تغییر فتوسنتز و متابولیسم گیاه مهار کند. افزایش گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS) در تنش شوری منجر به افزایش واکنش‌های سمی مانند پراکسیداسیون لیپیدها، تخریب پروتئین و جهش DNA می‌شود (Hnilickova *et al.*, 2021).

پلی‌آمین‌های (PA) گیاهی به‌طور عمده شامل پوترسین

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Alimoradi@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

(Put)، اسپرمیدین (Spd) و اسپرمین (Spm) هستند. تصور می‌شود PAها در پاسخ سلولی طی تنش شوری با تنظیم هومئوستازی ROS از طریق دو مکانیسم مجزا نقش داشته باشند. نخست PAها تخریب ROS را با پاکسازی رادیکال‌های آزاد و فعال‌کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش تحریک می‌کنند. دوم، PAها تولید ROS را از طریق کاتابولیسم PA در آپوپلاست تحریک می‌کنند (Michaeli *et al.*, 2011). مطالعات نشان داده‌اند که PAها در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی گیاهان عالی شرکت می‌کنند (Gondor *et al.*, 2021). به هر حال، اثر حفاظتی PAها براساس گونه گیاهی، میزان یا نوع PA و سطوح تنش متفاوت است (Suzuki *et al.*, 2012). گزارش شده است که Spd (۱ میلی‌مولار) تحمل به دمای بالای گیاهچه‌های خیار را با تأخیر در متابولیسم کلروفیل بهبود می‌بخشد (Zechmann *et al.*, 2011). همچنین نشان داده شده است که کاربرد Spm برون‌زا آسیب ناشی از تنش شوری در خیار (Angelini *et al.*, 2010)، تنش اسمزی و کم‌آبی در سویا و مرکبات (Ahmad *et al.*, 2013)، سرمازدگی در خیار (*Cucumis sativus*) (Gill and Tuteja, 2010) و Spd نیز تنش سرما در ذرت (Gao *et al.*, 2021) را کاهش می‌دهد، در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است که اسپری برگی همزمان Put و Spm می‌تواند برخی اثرات مخرب تنش خشکی در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) را کاهش دهد (توپچی و همکاران، ۱۳۹۹). گیاه کدو طبی (*Cucurbita pepo* L.) متعلق به تیره Cucurbiatceae، گیاهی یک ساله و رونده با ساقه‌های توخالی و کرک‌دار، ریشه راست و منشعب است. برگ‌ها پهن با رگ‌بندی پنجه‌ای و گل‌ها تک جنس، منظم و اجزای گل پنج تایی هستند. تخمدان تحتانی و تمکن جانبی است. رنگ گل‌ها، زرد- نارنجی، میوه‌ها، کروی شکل و طی نمو، ابتدا سبز رنگ، به‌تدریج نارنجی و زرد (رسیدگی کامل) می‌شوند. دانه‌ها به رنگ سبز زیتونی تا سبز تیره هستند (قهرمان، ۱۳۷۳). برخلاف سایر گونه‌های کدو که دارای دانه با پوشش لیگنینی شده، سخت و چرمی هستند، این گونه به دلیل به دلیل عدم وجود پوشش سخت در اطراف دانه‌ها، کدوی دانه برهنه یا کدو تخم کاغذی (کدو طبی) نامیده می‌شود که دارای ارزش دارویی و اقتصادی است (Li *et al.*, 2013). به دلیل استفاده خوراکی و دارویی آن، یک محصول زراعی مهم اقتصادی می‌باشد و به‌ویژه در مرحله استقرار گیاهچه حساس به شوری است (Cabello *et al.*, 2014). بنابراین، توسعه روش‌هایی برای اجتناب یا کاهش آسیب تنش شوری و پیدا کردن اصول فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحمل به شوری در این گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از ترکیبات یا تنظیم‌کننده‌های رشد به‌صورت برون‌زا در بسیاری از موارد در کاهش اثرات تنش‌های محیطی مؤثر بوده است. بررسی پاسخ افزایش مقاومت گیاه کدو به تنش شوری با استفاده از Spm به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در گیاهان، یکی دیگر از اهداف مهم این تحقیق محسوب می‌شود. در این مطالعه، Spm به دلیل اینکه یک تراآمین می‌باشد و حاوی بار خالص بالاتری در مقایسه با Put و Spd است و با توجه به در اختیار داشتن چهار گروه نیتروژن، دارای ظرفیت بافری بیشتری می‌باشد از طرفی به دلیل اینکه تحقیق بر روی Spm بسیار کمتر از دو پلی‌آمین دیگر انجام شده است این پلی‌آمین انتخاب شد. در این تحقیق به‌جای کاربرد تنظیم‌کننده رشد به‌صورت اسپری برگی و همزمان با اعمال تنش که به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است و احتمالاً از دقت کمتری برخوردار است، از پیش‌تیمار Spm و همچنین اعمال تنش شوری از طریق سیستم ریشه‌ای در کشت هیدروپونیک استفاده شد. نقش PAها در کاهش اثرات بسیاری از تنش‌های محیطی ثابت شده است اما در مورد نقش این مواد در افزایش یا کاهش مقاومت به تنش شوری در گیاه کدو اطلاعات محدودی وجود دارد. بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر پیش‌تیمار Spm بر برخی شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی گیاه کدو و بهبود مقاومت به تنش شوری در این گیاه بود.

مواد و روش‌ها

کشت گیاه و تیماردهی: این تحقیق در فصل بهار سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشگاه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته انجام شد. دانه‌های کدو پوست کاغذی در پتری‌دیش‌های حاوی دو لایه کاغذ صافی که با آب‌مقطر استریل مرطوب شده بودند، در تاریکی و دمای ۲۵°C به مدت ۴۸ ساعت جوانه زدند. بعد از ظهور گیاهچه‌ها، دسته‌های پنج تایی از گیاهچه‌ها به ظروف پلاستیکی که هر کدام حاوی ۶ لیتر محلول غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) با رقت ۰/۵ (pH=۶±۰/۲) بودند، تحت کشت هیدروپونیک منتقل شدند. گیاهچه‌های ۱۰ روزه با اندازه یکنواخت جهت تیماردهی با محلول‌های غذایی مختلف پیش‌تیمار شدند: (۱) شاهد: محلول غذایی هوگلند، (۲) Spm (سیگما) (صفر، ۰/۱ و ۱ میلی‌مولار) که به محلول غذایی اضافه شد. پس از پنج روز پیش‌تیمار Spm، هر دو گروه با کلرید سدیم (صفر، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار) به مدت هفت روز تیمار شدند. جهت انتخاب تیمارهای مختلف، بهینه‌سازی در مطالعه مقدماتی انجام شد. محلول غذایی حاوی مواد فوق در هر تیمار هر دو روز یک‌بار تعویض شد. گیاهان در تمام مراحل آزمایش با پمپ هوا هوادهی شدند. هفت روز پس از شروع تیمار شوری، ساقه و ریشه گیاهان با آب‌مقطر شسته شد و نمونه‌برداری از برگ سوم کاملاً توسعه یافته و بخش میانی ریشه برای بررسی شاخص‌های فیزیولوژیکی انجام شد.

سنجش پارامترهای رشدی: برای اندازه‌گیری وزن تر، اندام هوایی و ریشه‌ها از هم جدا شدند و بعد از شستشو با آب مقطر استریل وزن شدند. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس وزن خشک تعیین شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC): جهت محتوای نسبی آب بافت برگی، وزن تر و خشک برگ اندازه‌گیری شد و با استفاده از معادله زیر برحسب درصد محاسبه شد (Hayat *et al.*, 2007).

محتوای نسبی آب (٪) = (وزن خشک – وزن تورگر)/ (وزن خشک – وزن تر) ×۱۰۰

اندازه‌گیری نشت یونی و پراکسیداسیون لیپیدها: میزان نشت یونی در برگ‌های گیاهان تیمارشده با استفاده از روش Dionisio-Sese و Tobita اندازه‌گیری شد (۱۹۹۸) و هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌ها با استفاده از هدایت‌سنج الکتریکی (مدل Metrhom) و برحسب میکرو زیمنس اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان نشت یونی در نمونه‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$EL = EC_1 / EC_2 \times 100$$

جهت سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، محتوای مالون دآلدئید (MDA) با استفاده از تری‌کلرو استیک اسید (TCA) و تیوباربیتوریک اسید (TBA) به روش (Heath and Packer, 1968) انجام شد.

اندازه‌گیری محتوای پرولین و گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA): محتوای پرولین براساس روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) با استفاده از معرف نین‌هیدرین اندازه‌گیری شد و میزان جذب پرولین در ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Bates *et al.*, 1973). میزان GABA براساس روش Bor و همکاران (۲۰۰۹) و با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی با کارایی بالا (HPLC) (Agilent 1100، استرالیا) تعیین شد.

استخراج عصاره پروتئینی، سنجش پروتئین کل و فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: عصاره‌گیری با بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷/۲ انجام شد. پس از سانتریفیوژ از محلول رویی برای مطالعه فعالیت آنزیم‌ها و نیز سنجش پروتئین کل استفاده گردید. جهت سنجش مقدار پروتئین کل از روش Bradford (۱۹۷۶) و معرف بیوره استفاده شد و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلبومین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش Dhindsa و همکاران (۱۹۸۱) انجام و فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی برحسب مقدار پروتئین کل (میلی‌گرم) موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره، در یک دقیقه محاسبه گردید (Dhindsa *et al.*, 1981). سنجش فعالیت آنزیم گایاکل پراکسیداز با استفاده از روش Plewa و همکاران (۱۹۹۱) انجام شد. جهت سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، جذب در ۲۹۰ نانومتر محاسبه شد و فعالیت آنزیم برحسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل (میلی‌گرم) موجود در ۱۵۰ میکرولیتر عصاره گزارش شد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

(Nakano and Asada, 1981). فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز براساس روش Rao و Sresty (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شد. براساس این روش ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=(۷/۸)، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین ۲۰ میکرومولار، EDTA ۰/۱ میکرومولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش با برداشتن فویل آلومینیومی و قرار دادن نمونه‌ها در مقابل نور ۵۰۰۰ لوکس شروع شد. پس از ۱۵ دقیقه نور قطع شد و بلافاصله جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد و فعالیت آنزیمی برحسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل (میلی‌گرم) در ۵۰ میکرولیتر عصاره، بیان شد.

آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: پیش‌تیمار با Spm وزن تر اندام هوایی را در نمونه‌های تحت تنش شوری افزایش داد و این اثر در نمونه‌های تیمارشده با غلظت ۱ میلی‌مولار Spm بیشتر بود. تنش شوری در غلظت ۴۰ میلی‌مولار اثر معنی‌داری بر وزن تر ریشه نداشت اما در ۸۰ میلی‌مولار منجر به کاهش معنی‌دار آن شد. پیش‌تیمار با Spm، در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار اثر معنی‌داری فقط بر شوری ۸۰ میلی‌مولار داشت، درحالی‌که در غلظت ۱ میلی‌مولار، منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه در هر دو سطح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار شد و در مقایسه کل تیمارها، در شوری ۴۰ میلی‌مولار، غلظت ۱ میلی‌مولار Spm بیشترین اثر را در افزایش وزن تر ریشه نشان دادند (جدول ۱). تنش شوری در هر دو غلظت ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار وزن خشک اندام هوایی را کاهش داد. پیش‌تیمار با Spm موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی هم در گیاهان شاهد و هم تحت تنش شوری گردید. در هر دو شرایط شاهد و تنش شوری، غلظت ۱ میلی‌مولار Spm به‌طور معنی‌داری مؤثرتر از ۰/۱ میلی‌مولار بود. غلظت ۱ میلی‌مولار Spm بیشترین اثر را در افزایش وزن خشک اندام هوایی نشان داد (جدول ۱). تنش شوری در غلظت ۸۰ میلی‌مولار وزن خشک ریشه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در شرایط تنش شوری Spm باعث افزایش معنی‌داری در وزن خشک ریشه شد. در شوری ۸۰ میلی‌مولار و غلظت ۱ میلی‌مولار Spm باعث افزایش وزن خشک ریشه شد (جدول ۱).

محتوای نسبی آب (RWC) و نشت‌پذیری یونی (EL) در برگ: همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است هر دو سطح تنش شوری محتوای نسبی آب برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. پیش‌تیمار با Spm در شرایط شاهد تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت ولی در هر دو سطح شوری، هر دو غلظت Spm موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، تفاوتی بین دو غلظت Spm مشاهده نشد ولی در شوری ۸۰ میلی‌مولار، غلظت ۱ میلی‌مولار Spm از غلظت ۰/۱ میلی‌مولار مؤثرتر بود. هر دو سطح تنش شوری به‌طور معنی‌داری درصد نشت یونی را افزایش دادند. پیش‌تیمار گیاهان با هر دو غلظت Spm منجر به کاهش نشت یونی در شرایط تنش شوری گردید. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm نسبت به ۱ میلی‌مولار مؤثرتر بود. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، تفاوتی بین دو غلظت Spm مشاهده نشد.

مقدار مالون دآلدئید در برگ و ریشه: تنش شوری مقدار مالون دآلدئید برگ و ریشه را در هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری افزایش داد. پیش‌تیمار با هر دو غلظت Spm در شرایط بدون تنش اثر معنی‌داری بر میزان مالون دآلدئید برگ و ریشه نداشت ولی در هر دو سطح شوری، منجر به کاهش مقدار این صفت شد (جدول ۱).

جدول ۱- اثر تیمار شوری و پیش‌تیمار Spm بر برخی پارامترهای رشدی، محتوی نسبی آب، نشت یونی و محتوای مالون دآلدهید برگ و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

ریشه در کدو طبی (*Cucurbita pepo* L.)

Treatment	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	محتوای نسبی آب (%)	نشت یونی (%)	مالون‌دآلدهید ریشه	مالون‌دآلدهید برگ
	(g seedling^{-1})						(µmol/g FW)	
Control	۹/۸۹±۰/۲^{c}	۰/۶۲±۰/۰۰۴^{ef}	۳/۷۱±۰/۱^{c}	۰/۱۶±۰/۰۰۴^{bc}	۸۹/۷±۰/۶^{b}	۱۰/۴±۰/۲^{e}	۰/۷±۰/۰۴^{d}	۰/۶±۰/۰۲^{e}
NaCl (40 mM)	۸/۹۰±۰/۷^{d}	۰/۵۸±۰/۰۱^{f}	۳/۹۸± ۰/۳^{bc}	۰/۲۰±۰/۰۱^{a}	۵۶/۴±۰/۹^{d}	۱۹/۳±۰/۶^{c}	۱/۷±۰/۴^{b}	۱/۱±۰/۰۶^{c}
NaCl (80 mM)	۶/۲۵±۰/۳^{f}	۰/۴۷±۰/۰۱^{g}	۲/۵۲±۰/۲^{d}	۰/۰۸۵±۰/۰۰۲^{d}	۴۶/۸±۰/۶^{f}	۳۰/۰±۱/۱^{a}	۱/۹±۰/۰۷^{a}	۱/۶±۰/۰۶^{a}
SPM (0.1 mM)	۱۰/۴۹±۰/۱۲^{b}	۰/۷±۰/۰۱^{c}	۴/۲۲±۰/۰۶^{ab}	۰/۱۸±۰/۰۱^{ab}	۹۲/۴±۱/۳^{a}	۸/۹±۰/۴^{e}	۰/۷±۰/۰۹^{de}	۰/۴±۰/۰۶^{f}
SPM (0.1mM)+40mM	۱۰/۵۱±۰/۲۲^{b}	۰/۶۸±۰/۰۱^{cd}	۴/۱۲±۰/۱۳^{bc}	۰/۲۱±۰/۰۱^{a}	۶۰/۰±۰/۷^{c}	۱۴/۱±۰/۶^{d}	۱/۳±۰/۰۳^{c}	۰/۸±۰/۰۴^{d}
SPM (0.1 mM)+80 mM	۷/۶۱±۰/۱۳^{e}	۰/۶۱±۰/۰۱^{ef}	۳/۷۸±۰/۳۱^{c}	۰/۱۳±۰/۰۱^{cd}	۵۰/۱±۰/۲^{e}	۲۵/۹±۱/۰^{b}	۱/۷±۰/۰۴^{b}	۱/۳±۰/۰۲^{b}
SPM (1 mM)	۱۱/۳۲±۰/۲۷^{a}	۰/۸۴±۰/۰۴^{a}	۴/۵۵±۰/۰۳^{ab}	۰/۱۹±۰/۰۱^{ab}	۹۱/۲±۰/۹^{ab}	۹/۸±۰/۵^{e}	۰/۵±۰/۰۶^{e}	۰/۴±۰/۰۶^{ef}
SPM (1 mM)+40 mM	۱۰/۸۲±۰/۱۲^{ab}	۰/۷۷±۰/۰۳^{b}	۴/۸۳±۰/۲۱^{a}	۰/۲۱±۰/۰۱^{a}	۵۹/۷±۰/۳^{c}	۱۸/۵±۰/۳^{c}	۱/۳±۰/۰۳^{c}	۰/۸±۰/۰۸^{d}
SPM (1 mM)+80 mM	۸/۴۷±۰/۱^{d}	۰/۶۸±۰/۰۱^{cd}	۴±۰/۱۸^{bc}	۰/۱۴±۰/۰۱^{bc}	۵۶/۳±۰/۱^{de}	۲۷/۲±۰/۶^{b}	۱/۸±۰/۰۲^{ab}	۱/۲±۰/۰۲^{bc}

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن هستند.

محتوای پرولین برگ و ریشه: همان‌طور که داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد تنش شوری مقدار پرولین را به‌طور معنی‌داری در هر دو بافت برگ و ریشه افزایش داد. پیش‌تیمار با Spm موجب افزایش پرولین برگ در شرایط بدون تنش شد؛ اما در بافت ریشه پیش‌تیمار با Spm اثر معنی‌داری بر این گیاهان نداشت. در شوری ۴۰ میلی‌مولار پیش‌تیمار با Spm باعث افزایش چشمگیری بر مقدار پرولین برگ شد و تفاوتی بین دو غلظت Spm مشاهده نشد. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار با Spm اثر معنی‌داری بر میزان پرولین برگ نداشت. در گیاهان تحت تنش شوری ۴۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار با Spm در هر دو غلظت، پرولین برگ را افزایش داد اما در ریشه تنها غلظت ۱ میلی‌مولار باعث افزایش پرولین شد. در شوری ۸۰ میلی‌مولار شوری، پیش‌تیمار با Spm اثر معنی‌داری بر پرولین برگ نداشت ولی غلظت ۱ میلی‌مولار آن مقدار پرولین ریشه را افزایش داد.

مقدار GABA در برگ و ریشه: نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که تنش شوری مقدار GABA را در هر دو اندام برگ و ریشه افزایش داد و تفاوتی بین دو سطح شوری در هر دو اندام مشاهده نشد. پیش‌تیمار با Spm موجب افزایش GABA برگ هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش شوری ۴۰ میلی‌مولار شد. در شوری ۸۰ میلی‌مولار پیش‌تیمار با Spm مقدار GABA را افزایش داد. پیش‌تیمار با Spm موجب افزایش GABA ریشه در شرایط بدون تنش شد. نتایج نشان داد هر دو غلظت، Spm اثر معنی‌داری بر میزان GABA ریشه تحت تنش شوری نداشت (جدول ۲).

مقدار پروتئین برگ و ریشه: سطوح مختلف تنش شوری میزان پروتئین کل برگ و ریشه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در شرایط بدون تنش، پیش‌تیمار گیاهان با Spm اثر معنی‌داری بر میزان پروتئین برگ نداشت. در شرایط تنش شوری پیش‌تیمار با Spm مقدار پروتئین برگ را افزایش داد. پیش‌تیمار با غلظت ۱ میلی‌مولار Spm موجب افزایش پروتئین کل ریشه در شرایط بدون تنش شد. در شرایط تنش شوری، هر دو غلظت Spm پروتئین کل ریشه را افزایش داد. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، تفاوتی بین اثر پیش‌تیمار دو غلظت Spm بر افزایش میزان پروتئین ریشه مشاهده نشد (جدول ۲).

فعالیت آنزیم گایاکل پراکسیداز (GPOX) برگ و ریشه: تنش شوری در هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار موجب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

جدول ۲- اثر تیمار شوری و پیش‌تیمار Spm بر محتوای پروتئین، پرولین، گاماآمینو بوتیریک اسید و گایاکول پراکسیداز در کدو طبی (*Cucurbita pepo* L.)

Treatment	گاماآمینوبوتیریک اسید برگ	گاماآمینوبوتیریک اسید ریشه	پروتئین ریشه	پروتئین برگ	گایاکول پراکسیداز ریشه	گایاکول پراکسیداز برگ	پرولین ریشه	پرولین برگ
	(µmol/g FW)		(mg/g FW)		(µmol min^{-1} mg^{-1} protein)		(µmol/g FW)	
Control	۱۱۷±۴/۵ d	۱۴۴±۴/۵ c	۳/۳±۰/۰۹ bc	۱۵±۰/۵ b	۳۷۴۱± ۳۵۸ cd	۴۲۰± ۱۷ fg	۱/۸± ۰/۱ d	۱/۹±۰/۰۲ e
NaCl (40 mM)	۱۳۸±۴ cd	۱۶۳±۲/۴ b	۳± ۰/۱ c	۱۲± ۰/۱ d	۵۱۸۲± ۱۴۰ b	۴۹۰± ۲۰ ef	۲/۴± ۰/۰۹ c	۳/۱±۰/۰۲ c
NaCl (80 mM)	۱۴۹±۶/۸ c	۱۷۳±۴/۹ ab	۲/۰± ۰/۱ d	۷± ۰/۲ f	۶۲۴۳± ۲۲۳ a	۸۱۰± ۴۵ c	۳/۲± ۰/۰۶ b	۴/۳±۰/۰۲ b
SPM (0.1 mM)	۱۸۷±۶/۴ ab	۱۷۱±۲/۹ ab	۳/۱± ۰/۱ c	۱۶±۰/۰۸ ab	۴۰۷۴± ۲۴۱ cd	۳۵۰± ۲۶ g	۱/۹± ۰/۰۷ d	۲/۸±۰/۱۲ cd
SPM (0.1mM)+40mM	۲۰۳±۵ a	۱۷۵±۳/۳ ab	۳/۵± ۰/۱ b	۱۴± ۰/ ۱ c	۵۳۱۸± ۲۷۶ b	۷۳۰± ۴۳ cd	۲/۵± ۰/۱ c	۵/۲±۰/۲ a
SPM (0.1 mM)+80 mM	۱۷۸±۶/۱ b	۱۸۱±۲/۱ a	۳/۶±۰/۰۸ ab	۹± ۰/۱ e	۵۰۵۸± ۲۴۳ b	۱۲۷۰± ۳۶ a	۳/۱± ۰/۰۱ b	۳/۹±۰/۰۵ b
SPM (1 mM)	۱۷۸±۶/۱ b	۱۷۴±۴/۱ ab	۴± ۰/۰۵ a	۱۵± ۰/۴ b	۴۴۰۷± ۶۹ bc	۶۱۰± ۳۶ de	۱/۸± ۰/۱ d	۲/۶±۰/۱۲ d
SPM (1 mM)+40 mM	۱۸۶±۷/۱ ab	۱۶۹±۱/۹ ab	۳± ۰/۰۵ c	۱۶± ۰/۳ a	۵۰۶۷± ۳۴۸ b	۶۶۵±۳۵ d	۳/۱± ۰/۰۵ b	۵/۴±۰/۱ a
SPM (1 mM)+80 mM	۱۷۵±۱۱/۴ b	۱۷۰±۲/۶ ab	۳/۷± ۰/۲ ab	۹± ۰/۴ e	۳۲۹۷± ۳۷۳ d	۹۵۰± ۶۵ b	۳/۷± ۰/۱ a	۴±۰/۰۴ b

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن هستند.

افزایش میزان فعالیت آنزیم GPOX برگ گردید. در شرایط بدون تنش، پیش‌تیمار گیاهان با Spm اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم GPOX برگ نداشت (جدول ۲). در شوری ۴۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار با هر دو غلظت Spm سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم برگی شد. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار گیاهان با هر دو غلظت Spm اثر معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم GPOX برگ داشت و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود (جدول ۲). شوری منجر به افزایش میزان فعالیت آنزیم GPOX ریشه شد ولی بین دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط بدون تنش، پیش‌تیمار گیاهان با ۱ میلی‌مولار Spm فعالیت آنزیم GPOX ریشه را افزایش داد. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار با Spm اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم ریشه نداشت. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، هر دو غلظت Spm منجر به کاهش معنی‌دار فعالیت این آنزیم شد (جدول ۲).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) برگ و ریشه: تنش شوری در هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ و ریشه شد. در شرایط بدون تنش و تنش شوری، پیش‌تیمار گیاهان با Spm میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برگ و ریشه را افزایش داد. در شرایط بدون تنش، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار با غلظت ۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار گیاهان با هر دو غلظت Spm اثر معنی‌داری بر افزایش فعالیت آنزیم داشت و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود (جدول ۳). در شرایط غیرتنش، غلظت ۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، اثر غلظت ۱ میلی‌مولار Spm بر افزایش میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ریشه مؤثرتر بود. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm منجر به افزایش بیشتر فعالیت این آنزیم ریشه شد (جدول ۳).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز (SOD) برگ و ریشه: تنش شوری در هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم SOD برگ شد. در شرایط بدون تنش پیش‌تیمار گیاهان با Spm میزان فعالیت آن را افزایش داد ولی تفاوتی بین دو غلظت Spm بر میزان فعالیت آنزیم SOD

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

جدول ۳- اثر تیمار شوری و پیش‌تیمار Spm بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز برگ و ریشه در کدو طبی (*Cucurbita pepo* L.)

Treatment	آسکوربات پراکسیداز برگ	آسکوربات پراکسیداز ریشه	کاتالاز ریشه	کاتالاز برگ	سوپراکسید دیسموتاز ریشه	سوپراکسید دیسموتاز برگ
	(μmol min^{-1} mg^{-1} protein)				(U mg^{-1} protein)	
Control	۱۹± ۰/۶^{e}	۳۳± ۰/۴^{f}	۰/۸۲± ۰/۱^{f}	۱/۱± ۰/۰۴^{d}	۱۵۱± ۶^{e}	۳۶± ۴^{d}
NaCl (40 mM)	۲۷± ۱/۴^{d}	۷۸± ۱/۳^{b}	۱/۳۷± ۰/۰۵^{de}	۱/۵± ۰/۰۶^{c}	۲۶۵± ۷^{c}	۵۹± ۵^{c}
NaCl (80 mM)	۳۷± ۱/۱^{c}	۵۴± ۳/۱^{d}	۱/۹۳± ۰/۱^{bc}	۱/۷± ۰/۰۶^{abc}	۲۸۳± ۴^{bc}	۹۸± ۴^{b}
SPM (0.1 mM)	۴۰± ۱/۷^{c}	۴۳± ۱/۸^{e}	۰/۷۴± ۰/۱^{f}	۱/۱± ۰/۰۸^{d}	۱۵۳± ۶^{e}	۶۷± ۲^{c}
SPM (0.1mM)+40mM	۴۰± ۰/۴^{c}	۷۸± ۱/۱^{b}	۲± ۰/۱^{bc}	۱/۶± ۰/۰۲^{bc}	۲۰۴± ۷^{d}	۷۵± ۵^{c}
SPM (0.1 mM)+80 mM	۵۹± ۲/۳^{ab}	۷۹± ۰/۷^{b}	۲/۸± ۰/۱^{a}	۱/۹± ۰/۰۹^{ab}	۳۰۴± ۹^{a}	۱۱۶± ۶^{ab}
SPM (1 mM)	۳۵± ۰/۴^{c}	۵۱± ۲/۸^{d}	۰/۹± ۰/۲^{ef}	۱/۰۵± ۰/۱^{d}	۱۶۲± ۳^{e}	۷۴± ۶^{c}
SPM (1 mM)+40 mM	۵۶± ۱/۴^{b}	۹۰± ۲/۱^{a}	۱/۶± ۰/۱^{cd}	۱/۸± ۰/۰۱^{ab}	۲۰۶± ۴^{d}	۹۹± ۲^{b}
SPM (1 mM)+80 mM	۶۴±۲/۵^{a}	۶۱± ۰/۶^{c}	۲/۳± ۰/۱^{ab}	۱/۹± ۰/۰۴^{a}	۲۹۱± ۴^{ab}	۱۲۷± ۸^{a}

میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد براساس آزمون دانکن هستند.

برگ مشاهده نشد. پیش‌تیمار با غلظت ۱ میلی‌مولار Spm منجر به افزایش فعالیت این آنزیم در هر دو سطح شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار شد. در شرایط بدون تنش، پیش‌تیمار گیاهان با Spm میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز ریشه را افزایش داد ولی تفاوتی بین دو غلظت Spm بر میزان فعالیت این آنزیم ریشه مشاهده نشد. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، Spm موجب کاهش فعالیت آنزیم SOD ریشه شده است. در شوری ۸۰ میلی‌مولار، پیش‌تیمار با Spm منجر به افزایش فعالیت این آنزیم ریشه شد و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود (جدول ۳).

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) برگ و ریشه: نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که تنش شوری در سطح ۸۰ میلی‌مولار موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم CAT برگ شد. در شرایط بدون تنش، پیش‌تیمار گیاهان با Spm فعالیت این آنزیم را افزایش داد. در شوری ۴۰ میلی‌مولار پیش‌تیمار گیاهان با Spm اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم CAT برگی نداشت. در شوری ۸۰ میلی‌مولار پیش‌تیمار باSpm اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت این آنزیم نداشت. تنش شوری در سطح ۸۰ میلی‌مولار موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم CAT ریشه شد. در شرایط بدون تنش پیش‌تیمار گیاهان با Spm اثر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم CAT ریشه نداشت. در شوری ۴۰ میلی‌مولار، غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم CAT ریشه شد. در سطح ۸۰ میلی‌مولار شوری، پیش‌تیمار گیاهان با هر دو غلظت Spm موجب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم CAT ریشه شد و در مقایسه، اثر غلظت ۰/۱ میلی‌مولار Spm مؤثرتر بود (جدول ۳).

بحث

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده رشد، نمو و عملکرد محصول است (Chaves *et al.*, 2009; Ali *et al.*, 2022). جذب بیش از حد نمک باعث ایجاد سمیت یونی، تنش اسمزی و عدم تعادل یونی شده و در نتیجه رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Guirra *et al.*, 2021). نتایج این مطالعه نشان داد که تنش شوری اثر منفی بر پارامترهای رشد از جمله وزن تر و خشک گیاه دارد و با بسیاری از گزارش‌های پیشین که در آن تنش شوری موجب کاهش وزن تر و خشک ریشه و ساقه در گیاهان کدو (*Cucurbita pepo*) (Siddiqui *et al.*,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

2014) و نعناع (*Mentha spicata*) (Coban and Baydar, 2016) می‌شود همخوانی دارد. شوری تمام فرایندهای اصلی مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین و متابولیسم لیپید و انرژی و در نتیجه تمام مراحل گیاه از جوانه‌زنی، تولید بیوماس تا تولید دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و پیشنهاد شده است که کاهش رشد نتیجه تأثیر مستقیم یون‌ها روی فتوسنتز و فتوسیستم II است که باعث کاهش رشد می‌شود (Saberi Riseh *et al.*, 2021). در این مطالعه کاهش محتوای آب برگ در اثر تنش شوری نشان داد که بخشی از اثرات نمک بر کاهش رشد کدو می‌تواند به دلیل القای تنش اسمزی در این گیاه باشد. این کاهش در محتوای آب برگ می‌تواند به علت کاهش آب قابل دسترس در شرایط تنش و یا ناتوانی سیستم ریشه‌ای در جبران آب از دست رفته توسط تعرق باشد (Schonfeld *et al.*, 1988) گزارش شده است که تنش شوری منجر به افزایش نشت یونی و کاهش محتوای آب نسبی در گل داودی (*Chrysanthemum morifolium*) (Zhang *et al.*, 2016) شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت دارد. در این مطالعه پیش‌تیمار Spm موجب بهبود پارامترهای رشدی در گیاهان تحت تنش گردید. گزارشاتی مبنی بر اثر حفاظتی پلی‌آمین‌ها در گیاهان در برابر تنش‌ها وجود دارد (Choudhary *et al.*, 2022). Spd و Spm از طریق کاهش نشت یونی ناشی از تنش شوری و همچنین از طریق جلوگیری از دست رفتن کلروفیل و مهار واکنش‌های فیتوشیمیایی فتوسنتز تحت تنش شوری در گیاه برنج (*Oryza sativa*) منجر به حفاظت گیاه در برابر تنش شوری شدند (Chattopadhayay *et al.*, 2002). از طرفی توانایی پاک‌سازی ROS و کاهش تولید MDA، کنترل توازن یونی و پتانسیل اسمزی، آسیب‌های ناشی از تنش شوری در گیاه داودی را تخفیف داد (Zhang *et al.*, 2016). برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که پلی‌آمین‌ها ممکن است به عنوان سیگنال‌های سلولی در ارتباط با مسیرهای هورمونی از جمله ABA (Gill and Tuteja, 2010) و نیتریک اکسید عمل کنند (Choudhary *et al.*, 2022; Hussain *et al.*, 2011). تولید بیش از حد ROS یک پدیده معمول در تنش‌های مختلف از جمله شوری است که باعث آسیب‌های اکسیداتیو به مولکول‌های زیستی متعددی از جمله DNA، پروتئین‌ها، لیپیدها و رنگیزه‌ها می‌شود (Choudhary *et al.*, 2011). گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌شوند (Ahammed *et al.*, 2012). در این مطالعه در تنش شوری نشت یونی و مقدار مالون دآلدئید در هر دو اندام هوایی و ریشه گیاه کدو افزایش یافت. مشابه این نتیجه، در گیاه یونجه (*Medicago truncatula*) (Lopez-Gomez *et al.*, 2016) نیز مشاهده شده است. این افزایش در غلظت بالای شوری بیشتر از غلظت پایین آن گزارش شده است که نشان‌دهنده این است که غلظت بالای شوری منجر به خسارت بیشتر به غشا گردیده و تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدها را تشویق نموده است. آسیب غشایی موجب کاهش جذب مواد ضروری از خاک، هدایت روزنه‌ای، آسیمیلاسیون CO_2 فتوسنتزی، سطوح RNA و پروتئین و در نهایت کاهش محتوای آب درون سلول‌ها می‌گردد (Ahammed *et al.*, 2012). افزایش معنی‌دار مقدار مالون دآلدئید و نشت یونی غشا به همراه کاهش معنی‌دار محتوای آب درون سلولی در نمونه‌های کدو تحت تنش شوری در این پژوهش بیانگر این موضوع است. به نظر می‌رسد، افزایش میزان گونه‌های فعال اکسیژن در سطح بالای شوری به اندازه‌ای زیاد بوده است که حذف، جاروب کردن و یا خاموش نمودن آن‌ها با سیستم‌های دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی خارج از توان گیاه بوده است. بنابراین مکانیسم‌های دفاعی گیاه در مقابل تنش اکسیداتیو ایجاد شده کافی نبوده و این امر موجب خسارات بیشتر در بسیاری از فاکتورهای مورد سنجش در این پژوهش گردیده است. در این مطالعه در گیاهان پیش‌تیمار شده با Spm، نشت یونی و پراکسیداسیون لیپید کاهش یافت که خود نشان‌دهنده افزایش یکپارچگی غشا، کاهش تنش اکسیداتیو و اثر حفاظت غشایی در نتیجه پیش‌تیمار با این ترکیبات بوده است. حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی در شرایط تنش یکی از اجزای مقاومت در برابر تنش‌هایی نظیر شوری است. این حالت با کاربرد Spd در تنش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

شوری در گیاه خیار (*Cucumis sativus*) (Duan *et al.*, 2008) گزارش شده است. اعتقاد بر این است که اشکال آزاد و کانژوگه Spm مؤثرترین آنتی‌اکسیدان‌ها هستند و به‌عنوان ربایندە و حذف‌کننده اکسی‌رادیکال‌ها عمل می‌کنند (Choudhary *et al.*, 2022; Ha *et al.*, 1998). کاربرد Spm در تنش شوری، محتوای MDA در کلروپلاست گیاهچه خیار (*Cucumis sativus*) (Shu *et al.*, 2013) و تیمار آرسنیک در لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (Shah *et al.*, 2022) را از طریق افزایش متابولیت‌های آنتی‌اکسیدان و فعالیت آنزیم‌ها کاهش داده است. در تحقیق حاضر به نظر می‌رسد که پیش‌تیمار Spm آسیب غشایی ناشی از تنش شوری را از طریق افزایش توانایی پاک‌سازی ROS تخفیف داده و از نشت یونی جلوگیری می‌کند.

نتایج مربوط به مقدار پرولین نشان می‌دهند تنش شوری موجب افزایش تجمع این اسمولیت در گیاه کدو شده است. تجمع پرولین در پاسخ به شوری در ذرت (*Zea mays*) (Ali *et al.*, 2022) نیز گزارش شده است. پرولین علاوه بر این که یک ماده اسمزا و محافظ اسمزی است که در حفظ تعادل آب، حفظ ثبات پروتئین‌ها، حفظ ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، پایداری غشاها و دستگاه سنتز پروتئین، منبع ذخیره کربن و نیتروژن مورد نیاز جهت تخفیف شرایط تنش‌زا، کاهش خطرات حاصل از تولید ROS، پاک‌سازی رادیکال‌های هیدروکسیل، خاموش کردن اکسیژن یکتایی (و در نتیجه حفظ ماکرومولکول‌های سلولی نظیر پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA از خطرات رادیکال‌های آزاد)، تنظیم pH سلولی، تنظیم نسبت $NADP^+/NADPH$ و یک جز مسیرهای ترارسانی علامت نقش دارد. گزارش شده است که پرولین با پیوستن به فسفولیپیدهای غشایی و تغییرات در لایه هیدراته اطراف ماکرومولکول‌های زیستی در حفظ و ثبات غشاها نقش مؤثری دارد (Chookhampaeng, 2011).

در مطالعه حاضر پیش‌تیمار Spm به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای میزان پرولین را در گیاهچه‌های کدو در شرایط تنش شوری افزایش داد. به نظر می‌رسد دلیل افزایش پرولین در گیاه کدو همان‌گونه که از کاهش RWC معلوم است تنش آبی ناشی از نمک کلرور سدیم باشد. براساس یافته‌های حاضر، توانایی پیش‌تیمار Spm در حفظ RWC بالا در گیاهچه‌های کدو در معرض تنش شوری ممکن است به دخالت آن در تنظیم اسمزی از طریق افزایش پرولین نسبت داده شود. نتایج مشابهی در برنج (*Oryza sativa*) (Zhang *et al.*, 2016) گزارش شده است. از طرفی متابولیسم پلی‌آمین به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم متابولیسم پرولین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تجزیه و تخریب پلی‌آمین از طریق DAO و PAO، D_1–پیرولین را تولید می‌کند. D_1–پیرولین می‌تواند به GABA کاتابولیزه شود که از طریق ترانس‌آمیناسیون و اکسیداسیون به سوکسینات تبدیل می‌شود و به‌طور مداوم وارد چرخه کربس می‌شود (Angelini *et al.*, 2010) بنابراین تجزیه پلی‌آمین می‌تواند بیوسنتز پرولین را به همراه داشته باشد.

GABA یک متابولیت مهم است که در فرآیندهای فیزیولوژیکی متعدد از جمله تنظیم pH سیتوزولی، جریانات کربن به چرخه کربس، یک مسیر فرعی تولیدکننده ATP، کربن و نیتروژن تحت شرایط تنش اکسیداتیو، حفاظت در برابر تنش اکسیداتیو و سیگنالینگ دخالت دارد و در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی به سرعت و به میزان زیادی تولید می‌شود (Signorelli *et al.*, 2015). در بررسی حاضر، تنش شوری منجر به افزایش محتوای GABA در برگ و ریشه گیاه کدو شد. گزارش شده است که تنش‌های مختلفی از جمله شوری و خشکی تجمع GABA در گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) را افزایش داده است (Bor *et al.*, 2009). جدا از مسیر اصلی سنتز GABA از گلوتامات از طریق فعالیت آنزیم GAD (Glutamate decarboxylase)، دو مسیر بیوسنتزی دیگر در بافت‌های گیاهی وجود دارد. یکی تجزیه پلی‌آمین پوترسین با فعالیت دی‌آمین‌اکسیداز منجر به تشکیل GABA و ß–آلانین می‌شود و دیگری تبدیل غیرآنزیمی پرولین به GABA است که به تازگی گزارش شده است که یک مسیر جایگزین برای تأمین ATP، کربن و نیتروژن در شرایط تنش اکسیداتیو است (Signorelli *et al.*, 2015). محتوای بالای GABA در شرایط

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

تنش غیرزیستی مختلف از جمله تنش شوری به اهمیت این آمینواسید غیرپروتئینی تأکید می‌کند. گزارش شده است که گیاه تنباکو (*Nicotiana tabaccum* L.) تیمارشده با روی (Zn) محتوای GABA بالایی داشت (Das *et al.*, 2016) از طرف دیگر، گیاهان عدسک آبی (*Lemna minuta*) تیمارشده با GABA سطوح بالاتری از Mn، Zn و B در مقایسه با گیاهان تیمار نشده داشتند که نشان‌دهنده دسترسی احتمالی به مواد معدنی باواسطه GABA است (Kinnersley and Lin, 2000) گزارش شده است که تجمع GABA به شدت در شرایط تنش شوری القا می‌شود و در حفاظت کلروفیل و عملکرد فتوسنتز گندم در شرایط تنش شوری نقش دارد (Li *et al.*, 2016). در این بررسی، Spm به‌طور چشمگیری محتوای GABA برگ‌ها را در شرایط تنش افزایش داد. نتایج این تحقیق با یافته‌های Xing و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد که گزارش کردند یک همبستگی کمّی بین تخریب و تجزیه پلی‌آمین و تجمع GABA در شرایط تنش شوری در سویا وجود دارد (Xing *et al.*, 2007). از طرفی افزایش سطح پلی‌آمین باعث افزایش گاماآمینو بوتیریک اسید در *Haematococcus pluvialis* (Xing *et al.*, 2022) شده است. همچنین گزارش شده است که سطوح پلی‌آمین‌ها به‌طور معنی‌داری با افزایش مقادیر تنش شوری کاهش یافته که با افزایش فعالیت PAO و میزان GABA همراه می‌باشد، چنین به نظر می‌رسد که GABA که از کاتابولیسم پلی‌آمین‌ها نشأت می‌گیرد ممکن است در مکانیسم‌های دفاعی و حفاظت از گیاهان در برابر تنش شوری دخالت داشته باشد (Angelini *et al.*, 2010). در این تحقیق، نیز تصور بر این است که برخی اثرات پیش‌تیمار Spm در حفاظت گیاه ممکن است از طریق تولید GABA باشد.

در این پژوهش تنش شوری موجب کاهش مقدار پروتئین در ریشه و برگ گیاه کدو شد. مشابه با نتایج این پژوهش کاهش مقدار پروتئین در کلزا (*Brassica napus* L.) (Baghizadeh *et al.*, 2014) گزارش شده است. در این پژوهش پیش‌تیمار Spm موجب افزایش مقدار پروتئین در شرایط تنش شد. پلی‌آمین‌ها ممکن است از طریق برهم‌کنش با گروه‌های با بار منفی مانند فسفولیپیدها و پروتئین‌ها موجب پایداری سطح غشاها شوند (Todorova *et al.*, 2007) به علاوه با تغییر در ساختار پروتئین و افزایش اثرات پایداری پروتئین در برابر تنش مقاومت می‌کنند و از طریق اتصال یا کانجوگه شدن به پروتئین از تخریب و تجزیه آن جلوگیری می‌کنند (Dondini *et al.*, 2001). پلی‌آمین‌ها توانایی این را دارند که رونویسی mRNA را از طریق مهار آنزیم RNase تشدید کرده و از تخریب mRNA جلوگیری کنند (Alcazar *et al.*, 2010). از طرفی پلی‌آمین‌ها با حفاظت از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (Shu *et al.*, 2013) و جلوگیری از تولید رادیکال‌های آزاد بتواند از پروتئین‌ها حفاظت کند.

تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های SOD، POD، APX و CAT شد. نتایج مشابهی توسط Aghaleh و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده شد که نشان دادند دو گونه *Salicornia* (Aghaleh *et al.*, 2011) و ذرت (*Zea mays*) (Ali *et al.*, 2022) در شرایط تنش شوری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش می‌دهند. افزایش فعالیت CAT، POD و APX پاسخی به افزایش تولید بیش از حد H_2O_2 حاصل از تنش شوری ایفا می‌کنند (Puyang *et al.*, 2015). در پژوهش حاضر Spm موجب افزایش بیشتر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شد که مشابه این نتایج در خیار (*Cucumis sativus*) (Shu *et al.*, 2013) و گیاه داودی (Zhang *et al.*, 2016) در شرایط تنش شوری گزارش شده است. پلی‌آمین‌ها احتمالاً می‌توانند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را در شرایط تنش از طریق تغییر در سطح ترجمه (Aronova *et al.*, 2005)، بیان ژن (Puyang *et al.*, 2015) و تغییرات پس از ترجمه (Yang *et al.*, 2022) تعدیل و مدیریت کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که تنش شوری باعث کاهش پارامترهای رشد و محتوای آب کدو شد که علت آن آسیب به غشای سلول‌ها است. افزایش محتوای پرولین،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

GABA به همراه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان SOD، POD، APX و CAT در گیاهان در معرض تنش شوری نشان‌دهنده این است که هنوز سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه تا سطح ۸۰ میلی‌مولار شوری فعال بوده و در مقابله با رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش عمل می‌نماید. اثر پیش‌تیمار گیاه با Spm نشان داد که این ترکیب احتمالاً از طریق حفظ تمامیت غشاهای زیستی، افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدان آنزیمی، غیرآنزیمی (پرولین) و GABA به عنوان یک مولکول سیگنالینگ عمل کرده است. پیشنهاد می‌شود با توجه به افزایش میزان GABA در این پژوهش، بیان ژن‌های مربوط به مسیرهای متابولیسمی به‌ویژه ژن‌های کدکننده آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز این متابولیت مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

توپچی، ژ.، صالحی، ی.، قاسمی، ک. و متفکر، ر. (۱۳۹۹) اثر پلی‌آمین‌های برون‌زا بر برخی شاخص‌های رشد و فیزیولوژیک گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت تنش کم آبی. پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) ۳۳: ۱۳۸-۱۲۷.

قهرمان، ا. (۱۳۷۳) کورموفیت‌های ایران (سیستماتیک گیاهی). جلد۳. مرکز نشر دانشگاهی. تهران.

Aghaleh, M., Niknam, V., Ebrahimzadeh, H. and Razavi, K. (2011) Effect of salt stress on physiological and antioxidative responses in two species of Salicornia (*Salicornia persica* and *Salicornia europaea*). Acta Physiologiae Plantarum 33: 1261-1270.

Ahammed, G. J., Yuan, H. L., Ogweno, J. O., Zhou, Y. H., Xia, X. J., Mao, W. H., Shi, K. and Yu, J. Q. (2012) Brassinosteroid alleviates phenanthrene and pyrene phytotoxicity by increasing detoxification activity and photosynthesis in tomato. Chemosphere 86: 546-555.

Ahmad, R., Lim, C. J. and Kwon, S. Y. (2013) Glycine betaine: A versatile compound with great potential for gene pyramiding to improve crop plant performance against environmental stresses. Plant Biotechnology Reports 7: 49-57.

Alcazar, R., Altabella, T., Marco, F., Bortolotti, C., Reymond, M., Koncz, C., Carrasco, P. and Tiburcio, A. F. (2010) Polyamines: Molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. Planta 231: 1237-1249.

Ali, B., Wang, X., Saleem, M. H., Hafeez, A., Afridi, M. S., Khan, S., Ullah, I., Amaral Junior, A. T. D., Alatawi, A. and Ali, S. (2022) PGPR-mediated salt tolerance in maize by modulating plant physiology, antioxidant defense, compatible solutes accumulation and bio-surfactant producing genes. Plants 11: 345.

Angelini, R., Cona, A., Federico, R., Fincato, P., Tavladoraki, P. and Tisi, A. (2010) Plant amine oxidases "on the move": an update. Plant Physiology and Biochemistry 48: 560-564.

Aronova, E., Shevyakova, N., Stetsenko, L. and Kuznetsov, V. V. (2005) Cadaverine-induced induction of superoxide dismutase gene expression in *Mesembryanthemum crystallinum* L. Doklady Biological Sciences. Nauka/Interperiodica 403: 257-259.

Baghizadeh, A., Salarizadeh, M. and Abaasi, F. (2014) Effects of salicylic acid on some physiological and biochemical parameters of *Brassica napus* L. (Canola) under salt stress. International Journal of Agricultural Science 4: 147-152.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Bor, M., Seckin, B., Ozgur, R., Yılmaz, O., Ozdemir, F. and Turkan, I. (2009) Comparative effects of drought, salt, heavy metal and heat stresses on gamma-aminobutryric acid levels of sesame (*Sesamum indicum* L.). Acta Physiologiae Plantarum 31: 655-659.

Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for qantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Cabello, J. V., Lodeyro, A. F. and Zurbriggen, M. D. (2014) Novel perspectives for the engineering of abiotic stress tolerance in plants. Current Opinion in Biotechnology 26: 62-70.

Chattopadhayay, M. K., Tiwari, B. S., Chattopadhyay, G., Bose, A., Sengupta, D. N. and Ghosh, B. (2002) Protective role of exogenous polyamines on salinity-stressed rice (*Oryza sativa*) plants. Physiologia Plantarum 116: 192-199.

Chaves, M. M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany 103: 551-560.

Chookhampaeng, S. (2011) The effect of salt stress on growth, chlorophyll content proline content and antioxidative enzymes of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling. European Journal of Scientific Research 49: 103-109.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

Choudhary, S., Wani, K. I., Naeem, M., Khan, M. and Aftab, T. (2022) Cellular responses, osmotic adjustments, and role of osmolytes in providing salt stress resilience in higher plants: Polyamines and nitric oxide crosstalk. Journal of Plant Growth Regulation 1-15.

Choudhary, S. P., Kanwar, M., Bhardwaj, R., Gupta, B. and Gupta, R. (2011) Epibrassinolide ameliorates Cr (VI) stress via influencing the levels of indole-3-acetic acid, abscisic acid, polyamines and antioxidant system of radish seedlings. Chemosphere 84: 592-600.

Coban, O. and Baydar, N. G. (2016) Brassinosteroid effects on some physical and biochemical properties and secondary metabolite accumulation in peppermint (*Mentha piperita* L.) under salt stress. Industrial Crops and Products 86: 251-258.

Daş, Z. A., Dimlioglu, G., Bor, M. and Ozdemir, F. (2016) Zinc induced activation of GABA-shunt in tobacco (*Nicotiana tabaccum* L.). Environmental and Experimental Botany 122: 78-84.

Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P. and Thorpe, T. A. (1981) Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany 32: 93-101.

Dionisio-Sese, M. L. and Tobita, S. (1998) Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. Plant Science 135: 1-9.

Dondini, L., Bonazzi, S., Del Duca, S., Bregoli, A. M. and Serafini-Fracassini, D. (2001) Acclimation of chloroplast transglutaminase to high NaCl concentration in a polyamine-deficient variant strain of *Dunaliella salina* and in its wild type. Journal of Plant Physiology 158: 185-197.

Duan, J., Li, J., Guo, S. and Kang, Y. (2008) Exogenous spermidine affects polyamine metabolism in salinity-stressed *Cucumis sativus* roots and enhances short-term salinity tolerance. Journal of Plant Physiology 165: 1620-1635.

Fang, S., Hou, X. and Liang, X. (2021) Response mechanisms of plants under saline-alkali stress. Frontiers in Plant Science 12: 1049-1069.

Gao, C., Sheteiwy, M. S., Lin, C., Guan, Y., Ulhassan, Z. and Hu, J. (2021) Spermidine suppressed the inhibitory effects of polyamines inhibitors combination in maize (*Zea mays* L.) seedlings under chilling stress. Plants 10: 2421-2438.

Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48: 909-930.

Gondor, O. K., Tajti, J., Hamow, K. A., Majlath, I., Szalai, G., Janda, T. and Pal, M. (2021) Polyamine metabolism under different light regimes in wheat. International Journal of Molecular Sciences 22: 11717.

Guirra, K. S., Torres, S. B., Silva, J. E. S. B. D., Leite, M. D. S., Nogueira Neto, F. A., Guirra, B. S., Rego, A. L. B. and Paiva, E. P. (2021) Pretreatment of seeds with plant regulators attenuates salt stress in pumpkin: Effects on germination and initial seedling development. Revista Ciencia Agronomica 53: 1-8.

Ha, H. C., Sirisoma, N. S., Kuppusamy, P., Zweier, J. L., Woster, P. M. and Casero, R. A. (1998) The natural polyamine spermine functions directly as a free radical scavenger. Proceedings of the National Academy of Sciences 95: 11140-11145.

Hayat, S., Ali, B., Hasan, S. A. and Ahmad, A. (2007) Brassinosteroid enhanced the level of antioxidants under cadmium stress in *Brassica juncea*. Environmental and Experimental Botany 60: 33-41.

Heath, R. L. and Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics 125: 189-198.

Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P. and Hnilicka, F. (2021) Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. Plants 10: 845-859.

Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950) The water culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station 347: 1-32.

Hussain, S. S., Ali, M., Ahmad, M. and Siddique, K. H. (2011) Polyamines: Natural and engineered abiotic and biotic stress tolerance in plants. Biotechnology Advances 29: 300-311.

Kinnersley, A. M. and Lin, F. (2000) Receptor modifiers indicate that 4-aminobutyric acid (GABA) is a potential modulator of ion transport in plants. Plant Growth Regulation 32: 65-76.

Li, M., Guo, S., Yang, X., Meng, Q. and Wei, X. (2016) Exogenous gamma-aminobutyric acid increases salt tolerance of wheat by improving photosynthesis and enhancing activities of antioxidant enzymes. Biologia Plantarum 60: 123-131.

Li, X., Ge, Y., Gui, M., Cui, C. S. and Qu, S. P. (2013) Histological analysis of hulled and hull-less squash seed coat. International Journal of Agriculture and Biology 15: 1047-1050.

Lopez-Gomez, M., Hidalgo-Castellanos, J., Lluch, C. and Herrera-Cervera, J. A. (2016) 24-Epibrassinolide ameliorates salt stress effects in the symbiosis Medicago truncatula-Sinorhizobium meliloti and regulates the nodulation in cross-talk with polyamines. Plant Physiology and Biochemistry 108: 212-221.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

Michaeli, S., Fait, A., Lagor, K., Nunes-Nesi, A., Grillich, N., Yellin, A., Bar, D., Khan, M., Fernie, A. R. and Turano, F. J. (2011) A mitochondrial GABA permease connects the GABA shunt and the TCA cycle, and is essential for normal carbon metabolism. The Plant Journal 67: 485-498.

Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology 22: 867-880.

Plewa, M. J., Smith, S. R. and Wagner, E. D. (1991) Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis 247: 57-64.

Puyang, X., An, M., Han, L. and Zhang, X. (2015) Protective effect of spermidine on salt stress induced oxidative damage in two Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) cultivars. Ecotoxicology and Environmental Safety 117: 96-106.

Quintero, F. J., Martinez Atienza, J., Villalta, I., Jiang, X., Kim, W. Y., Ali, Z., Fujii, H., Mendoza, I., Yun, D. J. and Zhu, J. K. (2011) Activation of the plasma membrane Na^+/H antiporter Salt-Overly-Sensitive 1 (SOS_1) by phosphorylation of an auto-inhibitory C-terminal domain. Proceedings of the National Academy of Sciences 108: 2611-2616.

Rao, K. M. and Sresty, T. (2000) Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Science 157: 113-128.

Saberi Riseh, R., Ebrahimi-Zarandi, M., Tamanadar, E., Moradi Pour, M. and Thakur, V. K. (2021) Salinity stress: Toward sustainable plant strategies and using plant growth-promoting *Rhizobacteria Encapsulation* for reducing it. Sustainability 13: 12758-12775.

Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F. and Mornhinweg, D. W. (1988) Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science 28: 526-531.

Shah, A. A., Riaz, L., Siddiqui, M. H., Nazar, R., Ahmed, S., Yasin, N. A., Ali, A., Mukherjee, S., Hussaan, M. and Javad, S. (2022) Spermine-mediated polyamine metabolism enhances arsenic-stress tolerance in *Phaseolus vulgaris* by expression of zinc-finger proteins related genes and modulation of mineral nutrient homeostasis and antioxidative system. Environmental Pollution 300: 118941.

Shu, S., Yuan, L. Y., Guo, S. R., Sun, J. and Yuan, Y. H. (2013) Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 63: 209-216.

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Faisal, M. and Al Sahli, A. A. (2014) Nano-silicon dioxide mitigates the adverse effects of salt stress on *Cucurbita pepo* L. Environmental Toxicology and Chemistry 33: 2429-2437.

Signorelli, S., Dans, P. D., Coitino, E. L., Borsani, O. and Monza, J. (2015) Connecting proline and γ-aminobutyric acid in stressed plants through non-enzymatic reactions. PLoS One 10: e0115349-e0115353.

Suzuki, N., Koussevitzky, S., Mittler, R. and Miller, G. (2012) ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. Plant, Cell and Environment 35: 259-270.

Todorova, D., Sergiev, I., Alexieva, V., Karanov, E., Smith, A. and Hall, M. (2007) Polyamine content in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh during recovery after low and high temperature treatments. Plant Growth Regulation 51: 185-191.

Xing, H., Zhao, Y., Li, T., Han, B., Zhao, P. and Yu, X. (2022) Enhancing astaxanthin and lipid coproduction in *Haematococcus pluvialis* by the combined induction of plant growth regulators and multiple stresses. Bioresource Technology 344: 126225.

Xing, S. G., Jun, Y. B., Hau, Z. W. and Liang, L. Y. (2007) Higher accumulation of γ-aminobutyric acid induced by salt stress through stimulating the activity of diamine oxidases in *Glycine max* (L.) Merr. roots. Plant Physiology and Biochemistry 45: 560-566.

Yang, J., Wang, P., Li, S., Liu, T. and Hu, X. (2022) Polyamine oxidase triggers H_2O_2-mediated spermidine improved oxidative stress tolerance of tomato seedlings subjected to saline-alkaline stress. International Journal of Molecular Sciences 23: 1625.

Zechmann, B., Stumpe, M. and Mauch, F. (2011) Immunocytochemical determination of the subcellular distribution of ascorbate in plants. Planta 233: 1-12.

Zhang, N., Shi, X., Guan, Z., Zhao, S., Zhang, F., Chen, S., Fang, W. and Chen, F. (2016) Treatment with spermidine protects chrysanthemum seedlings against salinity stress damage. Plant Physiology and Biochemistry 105: 260-270.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]

Investigation of Spermine pretreatment on some growth and physiological parameters of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under salinity stress

Fatemeh Nejad-Alimoradi[1*], Fatemeh Nasibi[2]

[1] Department of Biology, Payame Noor University, Tehran, Iran
[2] Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
(Received: 19/02/2022, Accepted: 11/10/2022)

Abstract

Spermine (Spm) is a group of polyamine compounds that has four groups of nitrogen (tetraamine) and therefore has a higher buffering capacity that is capable of enhancing plant defense systems against many environmental stresses. In this study, which was conducted in 2016 in the research greenhouse of the Graduate University of Advanced Technology, the protective effects of Spm pretreatment against the toxicity of salinity were investigated in pumpkin. For this purpose, Spm was added at 0.1 and 1 mM to the hydroponic medium for 5 days before stress. Salinity treatment (NaCl) was applied at three levels of 0, 40 and 80 mM for 7 days. The experiments were conducted in factorial form in a completely randomized design with three replications. The results showed that salinity stress significantly decreased growth parameters (fresh and dry weight of shoot and root), leaf water content (RWC), protein content and increased lipid peroxidation and ion leakage. In addition, the amount of proline, gamma-aminobutyric acid (GABA) and the activity of antioxidant enzymes superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPOX) and ascorbate peroxidase (APX) increased under salt stress. Pretreatment with Spm improved growth and increased plant resistance against salt stress. Spm by increasing antioxidant activity (SOD, CAT, GPOX, and APX), proline and GABA content reduces oxidative stress, lipid peroxidation, ion leakage and finally, increased growth parameters. Therefore, Spm pretreatment is suggested as an efficient strategy to improve plant growth and raise pumpkin tolerance against salt stress.

Keywords: Spermine, Antioxidant enzymes, Salinity stress, Gamma-Aminobutyric acid

Corresponding author, Email: Alimoradi@pnu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.9.9]