بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گل سوسن (*Lilium* spp.) در شرایط کم‌آبیاری با استفاده از محلول‌پاشی برگی اسپرمیدین

مژگان امیدیان[۱]، زینب روئین*[۱] و محمد علی شیری[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، [۲] بخش تحقیقات علوم زراعی باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۰۲)

چکیده

پلی‌آمین‌ها از جمله اسپرمیدین نقش مهمی در تحمل گیاهان به تنش کم‌آبی دارند. به‌منظور بررسی تأثیر اسپرمیدین بر صفات فیزیولوژیک گل سوسن در شرایط تنش کم‌آبیاری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح کم‌آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و سطوح مختلف اسپرمیدین (صفر، ۱، و ۲ میلی‌مولار) بود. براساس نتایج، تنش شدید کم‌آبیاری (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) به‌ترتیب باعث افزایش ۱۷٤ درصدی و ۵۵ درصدی پرولین و نشت الکترولیت نسبت به شاهد شد. برخلاف آن کاهش ۳۳ درصدی و ۲٦ درصدی در میزان کاروتنوئید و پروتئین نسبت به تیمار بدون تنش مشاهده شد. نتایج نشان داد که کاهش دسترسی به آب در گیاه سوسن سبب تحریک فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، پراکسیداز و مالون دی‌آلدهید می‌شود، ولی مقدار کلروفیل برگ‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، تحت تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی) با کاربرد اسپرمیدین (۲ میلی‌مولار) میزان فعالیت آنزیم‌ها افزایش و میزان مالون دی‌آلدهید کاهش یافت. بنابراین، محلول‌پاشی برگی اسپرمیدین (۲ میلی‌مولار) و تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) یک روش قابل اجرا برای صرفه‌جویی در مصرف آب و حفظ کیفیت شاخساره سوسن است.

کلمات کلیدی: آنزیم، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نشت الکترولیت

مقدمه

گل سوسن با نام علمی *Lilium* spp. از مهم‌ترین گل‌های پیازی متعلق به تیره Liliaceae است و شامل حدود ۱۰۰ گونه و بومی نیمکره شمالی در آسیا، اروپا و آمریکای شمالی است (Rajera *et al*., 2017). ارزش اقتصادی و محبوبیت بالای گل پیازی سوسن به‌دلیل گل‌های بزرگ و جذاب، ماندگاری پس از برداشت، تنوع رنگ، عطر و سازگاری با شرایط محیطی مختلف است که موجب شده به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان گل بریدنی و گلدانی کشت شود، به‌طوری که در رتبه‌بندی جهانی رتبه سوم تا پنجم را به خود اختصاص داده است (Yamamoto *et al*., 2018; Kumar *et al*., 2018).

خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید محصولات گیاهی در سراسر جهان محسوب شده و اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاه و سایر فرایندهای متابولیکی دارد

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: z.roein@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

(Lum *et al*., 2014). خشکی زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت در یک منطقه خاص کمتر از حد طبیعی است یا به عبارتی یک منطقه به‌طور مداوم بارش کمتر از حد نرمال دریافت می‌کند (Khatana *et al*., 2018). از مهم‌ترین اثرات تنش خشکی تغییر در غشای سلولی، تجمع اسمولیت‌ها، کاهش میزان فتوسنتز، کاهش تولید زیست‌توده و اجزای عملکرد در گیاهان است (Kiranmai *et al*., 2018). گیاهان از سازوکارهای مختلفی برای مقابله با تنش استفاده می‌کنند، یکی از این سازوکارها تنظیم اسمزی است. پرولین یکی از محلول‌های سازگار است که نقش مهمی در گیاهان به‌عنوان تنظیم‌کننده اسمزی در هنگام کمبود آب دارد (Celik *et al*., 2017). تجمع پرولین به‌عنوان یک راهکار برای تحمل به خشکی در گیاهان در نظر گرفته شده است. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و حذف رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Ghorbanli *et al*., 2013). در مطالعه‌ای تنش خشکی سبب افزایش میزان پرولین و قندهای محلول برگ، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز در گیاه لوبیا شد (رشیدی و همکاران، ۱۳۹۳). در آزمایشی مشابه تنش خشکی محتوای هیدروژن پراکسید، پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و کاتالاز را در گیاه سیاهدانه افزایش داد که این نتایج نشان‌دهنده تنش اکسیداتیو القاشده توسط خشکی است (کبیری و همکاران، ۱۳۹۳).

پلی‌آمین‌ها از جمله دی‌آمین پوترسین (Put)، تری‌آمین اسپرمیدین (Spd) و تتراآمین اسپرمین (Spm)، پلی‌کاتیون‌های آلی با وزن مولکولی کم و با گروه‌های نیتروژنی آلیفاتیک هستند که در همه موجودات و در همه جا حضور دارند و برای رشد طبیعی پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها مورد نیاز هستند (Satish *et al*., 2018). پلی‌آمین‌ها در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مانند تقسیم سلولی، طویل‌شدن ریشه، پیری، توسعه گل، رسیدن میوه (Recalde *et al*., 2018) و پاسخ به تنش‌های محیطی مانند تنش فلزات سنگین، تنش اسمزی، تنش UV، تنش خشکی و شوری نقش دارند (Liu *et al*., 2018). کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها باعث افزایش ثبات و یکپارچگی غشای سلولی در گیاهان تحت تنش می‌شود و پلی‌آمین‌های درونی نیز در حفظ این یکپارچگی مشارکت دارند. پلی‌آمین‌ها پس از کاربرد خارجی می‌توانند سریعاً وارد کلروپلاست‌ها شده و یک نقش حفاظتی از دستگاه فتوسنتزی در برابر اثرات مضر تنش‌های محیطی بازی کنند (Adam and Murthy, 2013). نتایج یک آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی اسپرمیدین و اسپرمین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع پرولین در سنبل‌الطیب (*Valeriana officinalis*) تحت تنش خشکی شد که از این طریق آسیب به غشا را کاهش داد (Mustafavi *et al*., 2016). همچنین در پی کاربرد برگی پوترسین ویژگی‌های رویشی و زایشی گل بریدنی گلایول از جمله ارتفاع گل‌آذین، شمار گلچه‌ها، محتوای سبزینه کلروفیل a، b و کاروتنوئید بهبود یافت (Nahed *et al*., 2009). در پژوهشی کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها روی برنج تحت شرایط تنش خشکی باعث بهبود رشد گیاه به‌دلیل افزایش جذب کربن، افزایش سنتز متابولیت‌ها، حفظ محتوای آب بافت گیاه و درنتیجه کاهش نشت الکترولیت و عملکرد شد (Farooq *et al*., 2010).

با توجه به اهمیت اقتصادی گل سوسن و سطح تولید بالای آن در ایران، انجام پژوهش‌هایی برای افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت و همچنین مدیریت مصرف آب ضروری است. بدین منظور در پژوهش حاضر تأثیر اسپرمیدین بر پاسخ فیزیولوژیک گیاه در زمان رویارویی با تنش کم‌آبیاری در دوره رشد و نمو سوسن بررسی شد.

مواد و روش‌ها

کشت و تیماردهی: این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام گرفت. آزمایش در فضای گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هر تکرار با سه گلدان انجام شد. برای انجام پژوهش، ابتدا پیازهای هیبرید آسیایی گل سوسن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

رقم "Fangio" (LA, *longiflorum* × *Asiatic hybrid*) با قطر ۱۸ تا۲۰ سانتی‌متر از شرکت ساعی‌گل تهران تهیه گردید و در گلدان‌های با ارتفاع ۱۹ سانتی‌متر و قطر دهانه داخلی ۱۷ سانتی‌متر حاوی پیت، پرلیت و کوکوپیت (۱:۱:۱) کشت و آماده اعمال تیمارهای مختلف شدند. گیاهان در دمای ۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ٦٥ تا ۷۵ درصد و میزان نور ۱۰ ساعت روشنایی و ١٤ ساعت تاریکی قرار گرفتند. بستر کشت هر گلدان شامل ۹۰۰ گرم (۱:۱:۱ پیت، کوکوپیت و پرلیت) بود که پیازها در عمق ۵ سانتی‌متری گلدان کشت شدند. ۲۰ روز بعد از کشت وقتی که ارتفاع گیاهان حدود ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر رسید به‌منظور اعمال سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری از چهار سطح آبیاری به‌میزان ۱۰۰ درصد (بدون تنش)، ۷۵ درصد (تنش ملایم)، ۵۰ درصد (تنش متوسط) و ۲۵ درصد (تنش شدید) ظرفیت زراعی استفاده گردید. جهت محاسبه درصد وزنی رطوبت بستر کشت در نقطه ظرفیت زراعی، در هر گلدان مقدار مشخصی از بستر کشت ریخته شد. چهار گلدان به‌صورت تصادفی انتخاب و به حد اشباع از آب رسانده شدند. جهت جلوگیری از تبخیر آب بستر کشت، سطح گلدان‌ها به‌وسیله فویل آلومینیومی پوشانده شد. به‌دنبال آن، گلدان‌ها روی سطوح مشبک قرار داده شدند تا آب اضافه بستر کشت زهکش شده و به ظرفیت زراعی برسد. پس از سپری شدن ٤٨ ساعت یعنی زمانی که وزن گلدان‌ها ثابت ماند، وزن گلدان‌ها ثبت شد. در ادامه بستر کشت درون گلدان‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از گذشت ٢٤، ٤٨ و ۷۲ ساعت بستر کشت‌ها توزین شدند و در صورت ثابت‌شدن و عدم‌تغییر وزن بستر کشت، وزن خشک آنها ثبت شد. بدین ترتیب میانگین اعداد به‌دست آمده، معادل ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد. به‌طوری که وزن گلدان طبق رابطه (۱) در شرایط ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد.

$$FC(\%) = \frac{FW - DW}{FW} * 100$$ رابطه (۱)

که در آن، FW وزن بستر کشت در ظرفیت زراعی، DW وزن بستر کشت خشک‌شده در آون است. سپس مقدار آب مورد نیاز برای حفظ سطوح ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی نیز محاسبه شد و در طول دوره آزمایش برای سطوح مختلف رطوبتی گلدان‌ها مورد استفاده قرار گرفت (رجایی و همکاران، ١٣٩٤). در طول دوره آزمایش برای کنترل سطوح رطوبتی فوق، سطح تمامی گلدان‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد. وزن گلدان‌ها روزانه بررسی و به محض تغییر در وزن گلدان با اضافه‌کردن آب به بستر کشت، به حد ظرفیت زراعی موردنظر رسانده می‌شد. یک هفته بعد از اعمال تیمار تنش کم‌آبیاری (یک ماه بعد از کشت) گیاهان با غلظت‌های اسپرمیدین (صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار) محلول‌پاشی شدند محلول‌پاشی روی تمام اندام هوایی در سه نوبت هر ۱۰ روز یکبار انجام گرفت (Akram *et al.*, 2015; Rezvanypour *et al.*, 2015). اسپرمیدین ($C_7H_{19}N_3$, MW=145.25, Spd) از شرکت سیگما آلدریچ خریداری شد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC): به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، در زمان گلدهی گیاه از برگ‌های میانی ساقه که کاملاً توسعه‌یافته بود به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. بلافاصله در آزمایشگاه وزن‌تر آنها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد (FW). سپس تمامی نمونه‌ها در آب‌مقطر قرار داده شده و به‌مدت ٢٤ ساعت در یخچال در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. درنهایت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری شد (TW). برگ‌ها به‌مدت ٢٤ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد (DW). بدین ترتیب محتوای نسبی آب برگ‌ها از طریق رابطه (۲) محاسبه شد (Ritchie *et al.*, 1990).

$$RWC\ (\%) = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$ رابطه (۲)

اندازه‌گیری نشت الکترولیت (EC): از برگ گیاهان تحت تیمارهای مختلف به‌طور جداگانه قطعات مربعی با تعداد یکسان (۱۰ عدد) تهیه شد. سپس نمونه‌ها در آب‌مقطر و به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند. بعد از گذشت ٢٤ ساعت نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر قرار گرفتند و هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از EC متر (مدل GLP 31) اندازه‌گیری شد (EC1). به‌منظور اندازه‌گیری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

میزان کل نشت الکترولیت در اثر مرگ سلول‌ها، لوله‌های آزمایش در حمام آب‌گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از سردشدن لوله‌ها، مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (EC2). سپس میزان نشت الکترولیت با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Lutts *et al*., 1996).

$$EC(\%) = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$ رابطه (۳)

اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید: برای تعیین میزان میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ از روش Lichtenthaler و Wellburn (۱۹۸۳) استفاده گردید. بدین ترتیب که چند برگ از برگ‌های میانی ساقه به‌طور تصادفی از هر گلدان انتخاب و سپس در هاون چینی با نیتروژن مایع آسیاب شده و از مخلوط حاصل درنهایت ۰/۱ گرم نمونه بافت برگ وزن شد. برای استخراج مطلوب کلروفیل از ۵ میلی‌لیتر استون (۸۰ درصد) به‌عنوان حلال استفاده شد. سپس عصاره‌های حاوی کلروفیل به‌مدت ۱۰ دقیقه در ٦۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل Prism R) شدند و جذب عصاره در طول‌موج‌های ٦٦۳، ٦٤۷ و ٤۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Analytik Jena Specord 50 Plus) خوانده شد. درنهایت غلظت رنگیزه‌های گیاهی با روابط (٤)، (۵)، (٦) و (۷) و در نظرگرفتن فاکتور رقت و وزن بافت اولیه برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت تر برگ محاسبه شد.

$$chl\ a\ (\mu g/ml) = (12.25A_{663} - 2.79A_{647})$$ رابطه (٤)

$$chl\ b\ (\mu g/ml) = (21.50A_{647} - 5.10\ A_{663})$$ رابطه (۵)

$$chl\ T\ (\mu g/ml) = chl\ a + chl\ b$$ رابطه (٦)

رابطه (۷)

$$Car = [\ (\mu g/ml)(1000A_{470} - 1.82chl\ a - 82.05chl\ b)\ /198]$$

سنجش میزان پرولین: سنجش پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. برای این کار ۰/۵ گرم بافت برگ گیاهی با نیتروژن مایع در داخل هاون آسیاب شد. ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد به آن اضافه شد تا مخلوط همگن به‌دست آید. سپس این مخلوط با کاغذ واتمن شماره دو صاف شد و به ۲ میلی‌لیتر آن، ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک افزوده شد. پس از این که مخلوط خوب هم زده شد، به‌مدت یک ساعت در حمام آب‌گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از آن برای توقف واکنش، لوله‌های حاوی محلول درون یخ قرار گرفت و به آنها ٤ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. سپس به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شد. بعد از حدود ۲۰ ثانیه لایه رنگی بالایی برداشته و در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه مقدار پرولین از منحنی استاندارد پرولین استفاده گردید و نتایج برحسب میکرومول بر گرم وزن تر برگ گزارش شد.

استخراج عصاره آنزیمی: ۰/۱ گرم از نمونه‌های برگ فریزشده به کمک ترازوی آزمایشگاهی توزین شده و با نیتروژن مایع درون هاون چینی آسیاب و به‌طور کامل پودر شد. سپس ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۰/۱ مولار (pH= ۷) به نمونه پودرشده افزوده شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس عصاره رویی در میکروتیوب‌های علامت‌گذاری شده توزیع و به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد. این نمونه‌ها برای تعیین فعالیت پروتئین محلول، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز) و مالون دی‌آلدهید مورد استفاده قرار گرفت.

سنجش غلظت پروتئین محلول: به‌منظور اندازه‌گیری غلظت پروتئین‌های محلول برگ از روش Bradford (۱۹۷٦) استفاده شد. مقدار ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی درون لوله آزمایش ریخته، سپس ۱ میلی‌لیتر از معرف برادفورد به آن افزوده و سریعاً ورتکس شد. میزان جذب نوری محلول حاصل با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. با کمک منحنی استاندارد، غلظت پروتئین محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

میزان مالون دی‌آلدهید (MDA): اندازه‌گیری مالون دی‌آلدهید به‌روش Heath و Packer (۱۹٦۸) انجام شد. برای این منظور به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی، ۵۰۰ میکرولیتر محلول تری‌کلرواستیک اسید (TCA) ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در حمام آب‌گرم حرارت داده شد. بلافاصله نمونه‌های به سطح یخ منتقل شدند. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. غلظت MDA با ضریب خاموشی معادل $۱۵۵mM^{-1}cm^{-1}$، برحسب نانومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: پس از تهیه عصاره آنزیمی، به‌منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز پس از اضافه‌کردن ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، ۰/۳ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید ۳ درصد به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی میزان جذب در طول‌موج ۲٤۰ نانومتر به‌مدت ۱ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی آن ($٤۳/٦ mM^{-1}cm^{-1}$) به‌صورت میکرومول هیدروژن پراکسید تجزیه‌شده در دقیقه در گرم وزن تر برگ بیان شد (Aebi, 1984).

برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) استفاده شد. در این روش محلـول واکنش برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز شامل ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار و ۱۹ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۳ درصد و ۲۸ میکرولیتر گایاکول ۲ درصد و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییـرات جذب در طول‌موج ٤۷۰ نانومتر به‌مدت ۱ دقیقه با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز با ضریب خاموشی آن ($۲٦/٦mM^{-1}cm^{-1}$) به‌صورت واحد آنزیمی بر گرم وزن تر برگ بیان شد.

برای تعیین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از روش Nakano و Asada (۱۹۸۱) استفاده شد. در این روش مخلوط واکنش حاوی ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم (۰/۵ مولار و pH=۷) و۰/۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳ درصد، ۰/۲ میلی‌لیتر آسکوربات ۰/۰۵ و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آسکوربات براساس اکسیداسیون آسکوربیک اسید و کاهش در جذب در طول‌موج ۲۹۰ نانومتر به‌مدت ۱ دقیقه اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از ضریب خاموشی آن ($۲/۸ mM^{-1}cm^{-1}$) به‌صورت واحد آنزیمی بر گرم وزن تر برگ بیان شد.

تجزیه و تحلیل آماری: تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۰۷) استفاده گردید.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش کم‌آبیاری و اثر متقابل تنش کم‌آبیاری و اسپرمیدین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). تنش شدید کم‌آبیاری باعث کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار بدون تنش شد. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ از تیمار ۱ میلی‌مولار اسپرمیدین و بدون تنش به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ٦ درصدی داشت. همچنین، کمترین مقادیر مربوط به تیمار ۲ میلی‌مولار اسپرمیدین و تنش متوسط کم‌آبیاری و تیمار شاهد و تنش شدید کم‌آبیاری بود (شکل ۱).

بسیاری از محققان معتقدند که کاهش میزان محتوای رطوبت نسبی برگ در اثر تنش خشکی مربوط به انسداد روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها را تجمع هورمون آبسزیک اسید می‌دانند، به‌طوری که این هورمون در شرایط تنش خشکی در ریشه ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (چگینی و همکاران، ۱۳۹٦) گیاهان با محتوای نسبی آب برگ بالاتر مقاومت بیشتری نسبت به تنش‌های محیطی خصوصاً تنش خشکی از خود نشان می‌دهند (Arjenaki *et al.*, 2012). در این پژوهش افزایش محتوای نسبی آب برگ با به‌کاربردن اسپرمیدین در سطح بدون تنش و تنش شدید مشاهده شد. پلی‌آمین‌ها ممکن است کانال‌های یونی خاصی را تعدیل و نفوذپذیری غشا به کلسیم را افزایش

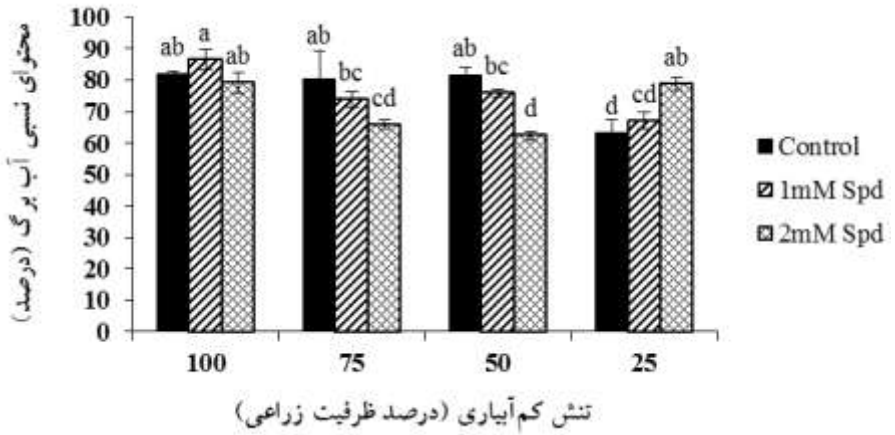
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات تنش کم‌آبیاری و تیمار اسپرمیدین بر محتوای نسبی آب برگ، میزان نشت الکترولیت، غلظت کلروفیل و کاروتنوئید، میزان پرولین و پروتئین گل سوسن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		محتوای نسبی آب برگ	نشت الکترولیت	کلروفیل	کاروتنوئید	پرولین	پروتئین
کم‌آبیاری	۳	۲۷۵**	۴۷۰**	۰/۱۱۶**	۰/۰۱۵**	۰/۲۸۲**	۵/۴۱*
اسپرمیدین	۲	۹۲/۷^{ns}	۱۱/۴^{ns}	۰/۱۰۷**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۲۷۸**	۴۰/۵۱**
کم‌آبیاری × اسپرمیدین	۶	۱۹۷**	۳۲/۱^{ns}	۰/۰۲۴**	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۶۲^{ns}
خطا	۲۴	۳۷/۵	۵۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۱/۲۴
ضریب تغییرات	-	۸/۱۹	۱۹/۱	۸/۸۷	۱۳/۲	۱۳/۷	۱۸/۵

ns غیرمعنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.



شکل ۱- اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری و سطوح مختلف اسپرمیدین بر محتوای نسبی آب برگ در گل سوسن. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط عمودی روی هر ستون نشان‌دهنده ± خطای استاندارد است (n=4).

دهند. به‌دنبال آن مقدار عنصر کلسیم در سیتوپلاسم بالا رفته که منجر به غیرفعال‌شدن ورود یک سویه پتاسیم در غشا پلاسمایی می‌گردد. نتیجه این فرایند تحریک انسداد روزنه، کاهش میزان تعرق، حفظ فشار تورژسانس و کاهش خروج آب از آن خواهد بود (Akter *et al.*, 2018). افزایش محتوای نسبی آب با کاربرد خارجی اسپرمیدین در چمن بنت‌گراس (Li *et al.*, 2015) و گل محمدی تحت تنش آب گزارش شده است (Hassan *et al.*, 2018). در سطوح تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) و متوسط (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) اسپرمیدین باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ نسبت به تیمار شاهد شد. دلیل تفاوت در نقش پلی‌آمین‌ها که بستگی به نوع پلی‌آمین و شرایط کاربرد آنها دارد، روشن نیست. در برخی موارد این ترکیبات به‌عنوان پرواکسیدانت و القاکننده تنش و گاهی به‌عنوان آنتی‌اکسیدانت و کاهش‌دهنده رادیکال‌های آزاد معرفی شده‌اند (Groppa and Benavides, 2008).

نشت الکترولیت: تنش کم‌آبیاری باعث افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت گیاه سوسن در سطح احتمال یک درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

گردید (جدول ۱). به‌طوری که بیشترین میزان نشت الکترولیت مربوط به تنش شدید بود که در مقایسه با شرایط بدون تنش افزایش ٥٤/٦ درصدی داشت (جدول ۲). پایداری غشا سلولی برای حفظ فشار تورژسانس سلولی و عملکرد فیزیولوژیک در طول تنش خشکی حیاتی است (Jin *et al.*, 2015). در اثر افزایش برخی ترکیبات فعال اکسیژن از قبیل رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل، غشای سلولی در گیاهان تحت تنش خشکی آسیب می‌بیند و الکترولیت‌ها به بیرون از سلول تراوش می‌کنند و درنتیجه باعث صدمه به گیاه می‌شوند (Aghaie *et al.*, 2018). در پژوهشی روی گیاه گوجه‌فرنگی تحت تنش خشکی مشاهده شد که میزان درصد نشت یونی در اثر تنش خشکی افزایش یافت (سادات صدوق و همکاران، ۱۳۹۳).

رنگیزه کلروفیل و کاروتنوئید: اثر تیمار اسپرمیدین و تنش کم‌آبیاری و اثرات متقابل اسپرمیدین × کم‌آبیاری بر محتوای کلروفیل در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبیاری میزان کلروفیل کاهش یافت ولی در تنش متوسط یک روند افزایشی داشت. در شرایط بدون تنش و کاربرد اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار میزان کلروفیل کاهش ٤٥ درصدی نسبت به تنش شدید (۲٥ درصد ظرفیت زراعی) و عدم‌محلول‌پاشی با اسپرمیدین داشت (شکل ۲).

به‌نظر می‌رسد افزایش میزان کلروفیل در سطح تنش ٥٠ درصد ظرفیت زراعی به‌دلیل افزایش ضخامت برگ باشد، وقوع تنش میزان سطح برگ را کاهش و تعداد کلروپلاست را افزایش می‌دهد درنتیجه برگ‌ها سبز پر رنگ می‌شوند. بنابراین در طی بروز تنش به‌دلیل وجود کلروپلاست بیشتر در سطح برگ میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (اکبری و جلیلی مرندی، ۱۳۹۲). تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل a، b و کل در گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens*) شد (مهرگان و همکاران، ۱۳۹۷). از آنجایی که کلروفیل و پرولین هر دو از پیش‌ماده گلوتامات به‌وجود می‌آیند، در شرایط خشکی میزان پرولین برگ افزایش پیدا می‌کند و شاید یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل، افزایش سنتز پرولین باشد (مزارعی و همکاران، ۱۳۹٦). تخریب کلروفیل و از دست‌دادن آن احتمالاً به‌دلیل انباشت ROS در اثر آسیب ناشی از تنش آبی رخ می‌دهد. کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش آبی به‌دلیل تخریب مسیرهای فتوسنتزی و جلوگیری از سنتز کلروفیل است. در مقابل، محلول‌پاشی اسپرمیدین باعث کاهش آسیب به کلروفیل از طریق حفظ سطوح مناسب کلروفیل تحت تنش آبی می‌گردد (Satish *et al.*, 2018). پلی‌آمین‌ها (اسپرمیدین) نقش ضداتیلنی دارند و از تولید آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز اتیلن و رادیکال‌های آزاد که باعث تخریب کلروفیل می‌شوند، جلوگیری می‌کنند. همچنین، پلی‌آمین‌ها از طریق کاهش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده در غشای تیلاکوئید از تجزیه کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Kamiab and Zamanibahramabadi, 2016). مطابق با نتایج این پژوهش، Shaddad و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که محلول‌پاشی پلی‌آمین‌ها سبب افزایش مقدار کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در گیاه ذرت (*Zea maize*) تحت تنش خشکی می‌شود.

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که تنش کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید برگ داشته است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبیاری محتوای کاروتنوئید کاهش یافت، به طوری که کمترین محتوای کاروتنوئید برگ در تنش شدید مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تنش متوسط نداشت (جدول ۲). در شرایط تنش کم‌آبی مقدار کاروتنوئید کاهش یافته و نمی‌تواند نقش حفاظتی خود را انجام دهد. کاهش محتوای کاروتنوئید ظاهراً به‌دلیل اکسیدشدن توسط اکسیژن فعال و تخریب ساختار آنها است (ضیائی و همکاران، ۱۳۹٦). هم‌راستا با این نتایج، تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum*) شد (Sadak, 2016).

میزان پرولین: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان پرولین برگ، اثر تنش کم‌آبیاری و تیمار اسپرمیدین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مقایسه میانگین این صفت نشان

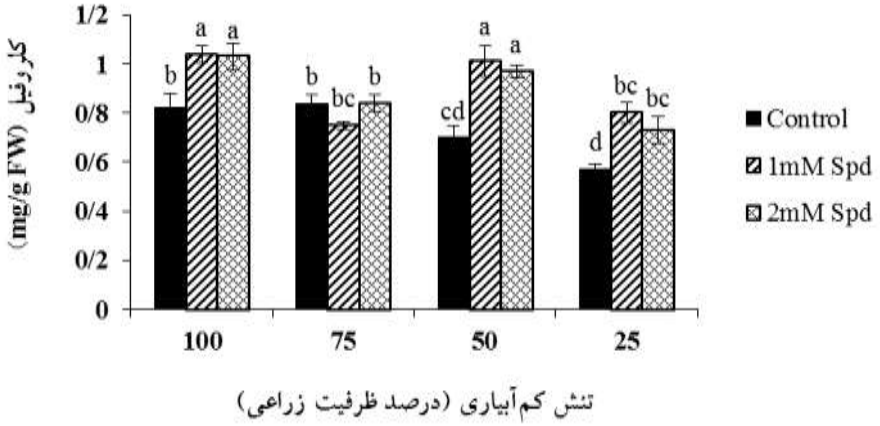
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

جدول ۲- مقایسه میانگین تاثیر تنش کم‌آبیاری بر میزان نشت الکترولیت، غلظت کاروتنوئید، میزان پرولین و پروتئین گیاه سوسن

تنش کم‌آبیاری	نشت الکترولیت (درصد)	کاروتنوئید (mg/g FW)	پرولین (µmol/gFW)	پروتئین (mg/g FW)
بدون تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)	۳۱/۱ ± ۱/۳۲ c	۰/۳٦ ± ۰/۰۱ a	۰/۲۳ ± ۰/۰٤ d	۷/۰۹ ± ۰/۵٦ a
تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی)	۳۷/۳ ± ۱/٤۵ bc	۰/۳٦ ± ۰/۰۱ a	۰/۳۸ ± ۰/۰٤ c	۵/۸۸ ± ۰/۸٤ b
تنش متوسط(۵۰ درصد ظرفیت زراعی)	٤۲/۱ ± ۱/۸۹ ab	۰/۳۱ ± ۰/۰۱ b	۰/۵٤ ± ۰/۰٤ b	۵/۸۰ ± ۰/۵۷ b
تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت زراعی)	٤۸/۱ ± ۳/۸٦ a	۰/۲۷ ± ۰/۰۱ b	۰/٦۳ ± ۰/۰٦ a	۵/۲٦ ± ۰/٤۹ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. میانگین داده‌ها ± خطای استاندارد است (n=4).



شکل ۲- اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری و سطوح مختلف اسپرمیدین بر میزان کلروفیل برگ سوسن. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط عمودی روی هر ستون نشان‌دهنده ± خطای استاندارد است (n=4).

می‌دهد که با افزایش سطوح تنش کم‌آبیاری میزان پرولین برگ افزایش یافته است، به‌طوری که بیشترین میزان پرولین مربوط به تنش شدید است که افزایش ۱۷٤ درصدی نسبت به شرایط بدون تنش داشته است. علاوه بر این، تیمار ۲ میلی‌مولار اسپرمیدین باعث افزایش ۱۰۷ درصدی میزان پرولین برگ در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۲ و ۳). تجمع پرولین به‌عنوان یک راهکار برای تحمل به خشکی در گیاهان در نظر گرفته شده است. پرولین کمک می‌کند تا گیاه فشار تورژسانس را در سلول حفظ کند و اجازه می‌دهد تا گیاه در شرایط خشکی با استفاده از آب خارج سلولی زنده بماند (Sahitya *et al.*, 2018). افزایش میزان پرولین با کاربرد پلی‌آمین‌ها تحت شرایط خشکی می‌تواند به‌دلیل نقش حمایت‌کننده پلی‌آمین‌ها از پروتئین‌ها، آنزیم‌های دخیل در سنتز پرولین، حفظ فتوسنتز و تعدیل عناصر غذایی باشد (دولت کردستانی و همکاران، ۱۳۹٦). نتایج ما با یافته‌های Kubis و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت دارد. آنها نشان دادند که گیاهچه‌های خیار (*Cucumis sativus*) تیمارشده با پلی‌آمین‌ها تحت شرایط تنش خشکی، مقدار پرولین بیشتری را در خود ذخیره کردند.

میزان پروتئین محلول: براساس جدول تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبیاری بر میزان پروتئین محلول برگ در سطح احتمال پنج درصد و تیمار اسپرمیدین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیر تیمار اسپرمیدین بر میزان پرولین و پروتئین گیاه سوسن

تیمار اسپرمیدین	پرولین (µmol/gFW)	پروتئین (mg/g FW)
شاهد	۰/۲۷ ± ۰/۰۴^{c}	۳/۸۸ ± ۰/۳۹^{b}
۱ میلی‌مولار	۰/۴۹ ± ۰/۰۴^{b}	۷/۰۸ ± ۰/۳۸^{a}
۲ میلی‌مولار	۰/۵۶ ± ۰/۰۵^{a}	۷/۰۷ ± ۰/۲۷^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. میانگین داده‌ها ± خطای استاندارد است (n=4).

میزان پروتئین محلول مشخص کرد که تحت تنش شدید نسبت به شرایط بدون تنش میزان پروتئین محلول کاهش ۱۸ درصدی داشته است (جدول ۲). علاوه بر این تیمارهای مختلف اثرات متفاوتی بر میزان پروتئین محلول برگ داشتند. بیشترین میزان پروتئین محلول برگ از تیمار اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار به‌دست آمد که با غلظت ۲ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری نداشت، به‌طوری که محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسپرمیدین باعث افزایش دو برابری میزان پروتئین محلول برگ نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

بررسی‌ها نشان داده است که در گیاه گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) (زاهد چکووری و قاسم‌اف، ۱۳۹٤) و گیاه کاسنی (*Cichorium intibus*)، تنش خشکی باعث کاهش مقدار پروتئین شد (رضایی‌نیا و همکاران، ۱۳۹٦). تنش اکسایشی ناشی از خشکی یکی از دلایل کاهش مقدار پروتئین‌هاست و احتمالاً تولید رادیکال‌های سوپراکسید یا هیدروکسیل باعث اکسایش اسیدهای آمینه می‌شود و به ساختار و عملکرد پروتئین‌ها آسیب جدی وارد می‌کند (سالارپور غربا و فرح‌بخش، ۱۳۹٤). در مطالعه‌ای Zhang و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که اسپرمیدین و پوترسین مقدار پروتئین محلول در برگ‌های خیار تحت تنش سرما را افزایش دادند. افزایش مقدار پروتئین در اثر کاربرد پلی‌آمین‌ها ممکن است به‌دلیل نقش آنها در سنتز پروتئین‌ها باشد. همچنین، گزارش شده است که اسپرمیدین در نابودی رادیکال‌های فعال اکسیژن نقش داشته و از فعالیت آنها جلوگیری می‌کند. برخی بررسی‌ها نشان داده‌اند که تیمار پلی‌آمین‌ها موجب افزایش جذب و تجمع نیتروژن می‌شود که درنتیجه آن ترکیباتی مانند اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها به مقدار بیشتری توسط گیاه ساخته می‌شود (Dastyran, 2015). در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد که اسپرمیدین باعث افزایش میزان پروتئین شده است.

مالون دی‌آلدهید: اثر سطوح مختلف تنش کم‌آبیاری، تیمار اسپرمیدین و برهمکنش آنها بر میزان مالون دی‌آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). بیشترین میزان مالون دی‌آلدهید در سطح تنش شدید و تیمار شاهد به‌دست آمد. محلول‌پاشی اسپرمیدین باعث کاهش میزان مالون دی‌آلدهید شد و بدین ترتیب اثرات منفی تنش کم‌آبیاری را کاهش داد. به‌طوری که محلول‌پاشی اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار باعث کاهش ٦۷ درصدی میزان مالون دی‌آلدهید نسبت به عدم‌کاربرد اسپرمیدین در سطح تنش شدید یعنی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی شد (شکل ۳).

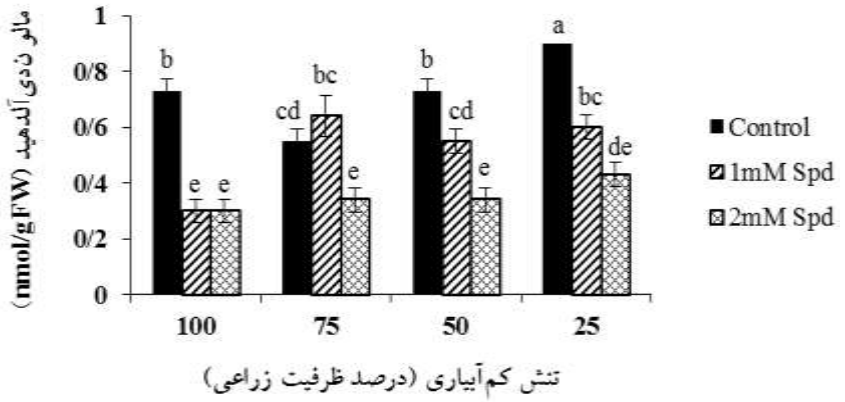
افزایش محتوای MDA به‌عنوان یکی از محصولات اصلی پراکسیداسیون غشا توسط ROS است که بر فسفولیپیدهای غشا تأثیر می‌گذارد و به‌عنوان شاخص برای تعیین میزان آسیب ناشی از تنش خشکی استفاده می‌شود (Liao *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای Hossain و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کردند که تنش شوری و خشکی باعث افزایش قابل توجهی در میزان MDA در خردل می‌شود که این امر به‌علت عدم‌القا سیستم آنتی‌اکسیدان‌ها است. پلی‌آمین‌ها به‌علت ویژگی آنتی‌اکسیدانی به‌طور عمده از پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری می‌کنند. بنابراین ممکن است از طریق حذف ROS یا بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث حفظ لیپیدهای غشا شوند (Ataii *et al.*, 2015). کاربرد خارجی اسپرمیدین روی دانهال‌های مرکبات سبب افزایش محتوای پرولین و فعالیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

جدول ٤- تجزیه واریانس اثرات تنش کم‌آبیاری و تیمار اسپرمیدین بر میزان مالون دی‌آلدهید و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز گیاه سوسن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		مالون دی‌آلدهید	آنزیم کاتالاز	آنزیم پراکسیداز	آسکوربات پراکسیداز
کم‌آبیاری	۳	۰/۰٦۲**	۰/۰۰٦**	۰/۰۰۲۰**	۰/۰۱٤**
اسپرمیدین	۲	۰/۰٤۲**	۰/۰۲۳**	۰/۰۰۰٦**	۰/۰۲۷**
کم‌آبیاری × اسپرمیدین	٦	۰/۰۳۸**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۵**	۰/۰۰٤**
خطا	۲٤	۰/۰۰٦	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰٦	۰/۰۰۰٤
ضریب تغییرات	-	۱٤/٤۲	۸/۱۵	۸/٤۹	۲۰/۰۳

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

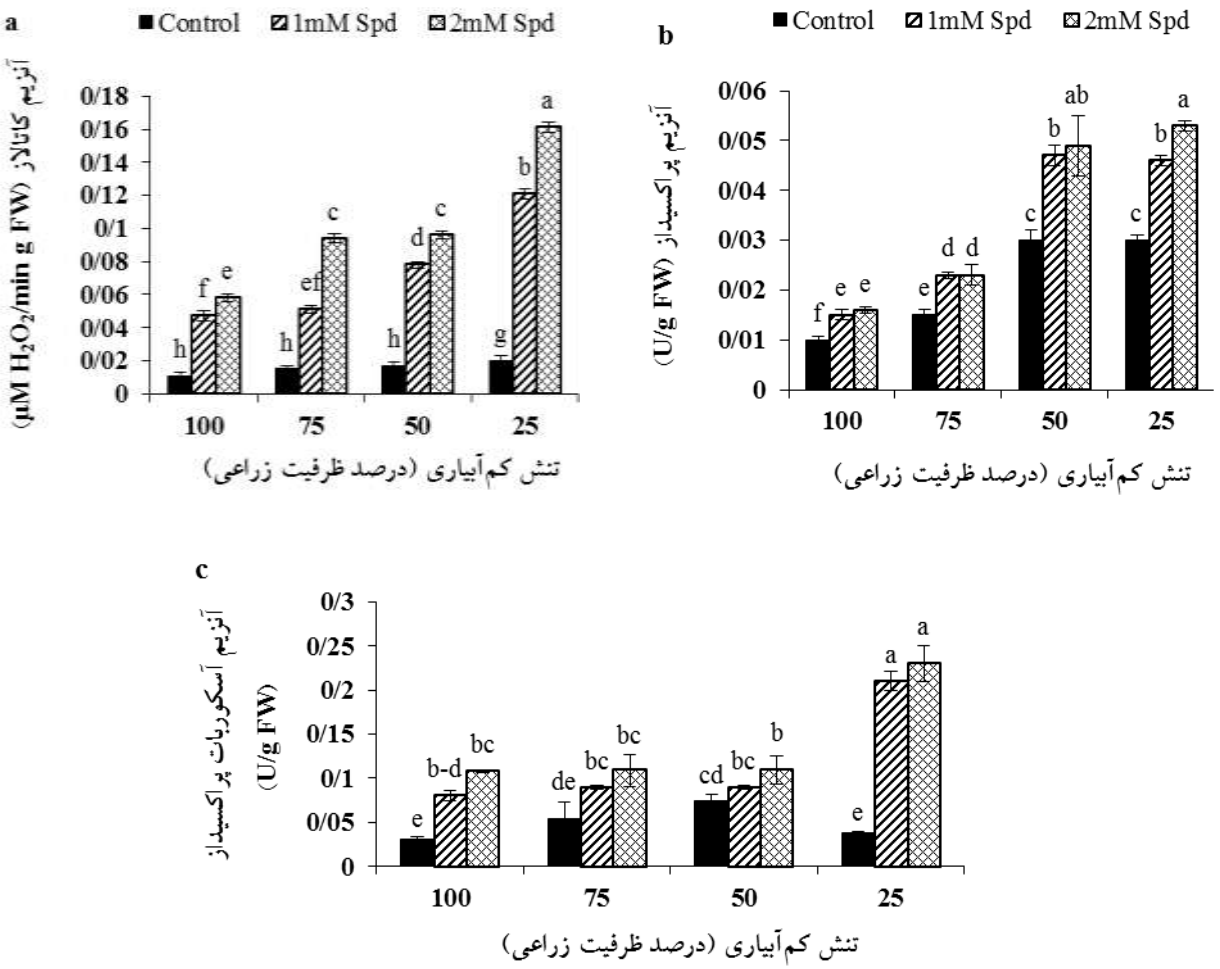


شکل ۳- اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری و سطوح مختلف اسپرمیدین بر میزان مالون دی‌آلدهید برگ سوسن. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط عمودی روی هر ستون نشان‌دهنده ± خطای استاندارد است (n=4).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد. از طرف دیگر باعث کاهش محتوای MDA و سطوح هیدروژن پراکسید (H_2O_2) و رادیکال سوپراکسید ($O_2^{-\bullet}$) شد (Xiong *et al.*, 2017).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی: اثر تنش کم‌آبیاری، تیمار اسپرمیدین و برهمکنش آنها بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار تنش شدید و اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار به‌دست آمد. همچنین با افزایش تنش کم‌آبیاری از میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌طور معنی‌داری کاسته شد به‌طوری که کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ٤a). تنش کم‌آبیاری باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شرایط عدم‌تنش شد. علاوه بر این، با اعمال تنش شدید میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاهان تحت تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار نسبت به عدم‌کاربرد اسپرمیدین افزایش ۷۷ درصدی را نشان داد. تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار و شرایط تنش شدید باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به گیاهان تحت تنش و بدون محلول‌پاشی شد (شکل ٤b). بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز از تیمار اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار و سطح تنش شدید ۲۵ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمار اسپرمیدین ۱ میلی‌مولار اختلاف آماری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]



شکل ٤- اثرات متقابل تنش کم‌آبیاری و سطوح مختلف اسپرمیدین بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی. a: کاتالاز، b: پراکسیداز و c: آسکوربات پراکسیداز برگ سوسن. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند. خطوط عمودی روی هر ستون نشان‌دهنده ± خطای استاندارد است (n=4).

معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار شاهد و سطح بدون تنش بود که نسبت به تنش شدید کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ٤c).

گیاهان معمولاً دارای راهکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای سازگاری به تنش خشکی هستند. تنش خشکی معمولاً باعث انباشت ROS و آسیب اکسیداتیو به گیاه می‌شود. در مقابل، گیاهان می‌توانند کارایی سیستم آنتی‌اکسیدان را افزایش دهند و از طریق افزایش سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، پراکسیداز (POX) و کاتالاز (CAT) و ترکیبات غیرآنزیمی باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی شوند (Ling *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای، Ahmad و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز تحت تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش در گیاه ذرت افزایش یافت. همچنین موسوی و همکاران (۱۳۹٦) بیان کردند که با کاهش مقدار آبیاری بر فعالیت آنزیم کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و غلظت مالون دی‌آلدهید در گل جعفری (*Tagetes erecta*) افزوده شد. تحت تنش خشکی محلول‌پاشی اسپرمیدین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) شد (Liu *et al.*, 2018). پلی‌آمین‌ها با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود به‌وسیله محدودکردن تجمع O_2^- (احتمالاً از طریق مهار NADPH اکسیداز) موجب کاهش خسارات ناشی از تنش‌های اکسیداتیو می‌گردند (Wen and Moriguchi, 2015). کاربرد برگی اسپرمین و اسپرمیدین در گل محمدی (*Rosa damascena*) باعث بهبود فعالیت آنزیم‌های CAT و SOD و کاهش سطح H_2O_2 گردید که این موضوع منجر به افزایش خواص غشا می‌شود (Hassan *et al.*, 2018). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که یکی از مکانیسم‌های دخیل در بهبود تحمل به کم‌آبیاری گیاه سوسن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است.

در مطالعه حاضر تیمار اسپرمیدین از طریق افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش تنش کم‌آبیاری و بهبود شاخص پایداری غشا و افزایش قدرت گیاه در حفظ آب و افزایش میزان کلروفیل در گیاه سوسن شد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان بیان کرد که سوسن گیاهی متحمل به تنش کم‌آبیاری است و تا سطح تنش ملایم ۷۵ درصد ظرفیت زراعی را به‌خوبی تحمل می‌کند. از طرفی محلول‌پاشی اسپرمیدین ۲ میلی‌مولار می‌تواند با جلوگیری از پراکسیداسیون لیپید و کاهش تخریب پروتئین‌ها از طریق حذف رادیکال‌های آزاد، باعث حفظ ساختار سلول و درنهایت جلوگیری از متلاشی‌شدن بافت و اندام گیاهی تحت تنش کم‌آبیاری گردد.

نتیجه‌گیری

منابع

اکبری، و. و جلیلی مرندی، ر. (۱۳۹۲) اثر سایکوسل بر رشد و رنگیزه‌های فتوسنتزی دو رقم زیتون تحت دورهای مختلف آبیاری. نشریه علوم باغبانی ۲۷: ٤٦٩-٤٦٠.

چگینی، ا.، قربانپور، م.، حاتمی، م. و تقی‌زاده، م. (۱۳۹٦) اثر نانو لوله‌های کربنی چند دیواره بر صفات فیزیولوژیکی، ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه مریم‌گلی ایرانی (*Salvia mirzayanii*) تحت تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی گیاهان دارویی ۲: ۲۰۷-۱۹۱.

دولت کردستانی، م.، تقوایی، م. و برخوری، س. (۱۳۹٦) ارزیابی اثر پوترسین بر برخی شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق (*Calotropis procera* Ait) تحت شرایط خشکی. فیزیولوژی محیطی گیاهی ۱۲: ۱۳-۱.

رجایی، م.، عطارزاده، م.، موسوی، ح. و عطارزاده، م. (۱۳۹٤) استفاده از کمپوست شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) درکاهش اثر تنش کم‌آبی در خیار گلخانه‌ای. دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۵: ۹۰-۷۹.

رشیدی، س.، عبادی، ع.، پرمون، ق. و جهانبخش، س. (۱۳۹۳) اثر منبع نیتروژن بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی لوبیا در شرایط تنش کم‌آبی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۳ :۹۷.

رضایی‌نیا، ن.، رمرودی، م.، گلوی، م. و فروزنده، م. (۱۳۹٦) تأثیر کودهای زیستی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب برخی عناصر غذایی در گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium intibus*) در واکنش به تنش خشکی. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ۲٤: ۱٤۰-۱۲۹.

زاهد چکووری، س. و قاسم‌اف، ن. (۱۳۹٤) بررسی تغییرات برخی از عناصرتغذیه‌ای پرمصرف، پرولین و پروتئین در گیاه گاوزبان اروپایی (*Borago Officinalis* L.) تحت تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی زیست‌فناوری گیاهان زراعی ۱۱: ۷۵-٦۵.

سادات صدوق، ف.، شریعتمداری، ح.، خوشگفتارمنش، ا. م. و مصدقی، م. ر. (۱۳۹۳) تغذیه متناسب گوجه‌فرنگی با پتاسیم و روی در شرایط تنش خشکی ایجادشده با پلی‌اتیلن گلیکول ٦۰۰۰ در سیستم آبکشت. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۵: ۸۱- ٦۷.

سالارپور غربا، ف. و فرح‌بخش، ح. (۱۳۹٤) تأثیر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر صفات ظاهری و فیزیولوژیکی گیاه رازیانه. به‌زراعی کشاورزی ۱٦: ۷۷۸-۷٦۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

ضیائی، س. م.، خزاعی، ح. ر. و نظامی، ا. (۱۳۹٦) بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری بر صفات مرفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در پنج ژنوتیپ ماش. فیزیولوژی گیاهان زراعی ۹: ۲۱-۵.

کبیری، ر.، فرح‌بخش، ح و نصیبی، ف. (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). دو ماهنامه علمی پژوهشی گیاهان دارویی و معطر ایران ٤: ٦٠٩-٦٠٠.

مزارعی، ا.، سیروس مهر، ع. ر. و بابایی، ز. (۱۳۹٦) تأثیر قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی خار مریم (*Silybum marianum* (L.) Gaertn) تحت تنش خشکی. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۳.

موسوی، س. م.، چهرازی، م. ا. و خالقی، ا. (۱۳۹٦) اثر تنش آبی بر روند تغییرات پرولین، قندهای محلول، محتوای نسبی آب و پروتئین‌های محلول برگ دو گونه گل جعفری. نشریه علوم باغبانی ۳۱: ۳۷۱-۳٦۵.

مهرگان، ب.، موسوی فرد، ص. و رضایی‌نژاد، ع. ا. (۱۳۹۷) تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه آلترنانترا (*Alternanthera repens* L.) تحت تنش خشکی. به‌زراعی کشاورزی۲۰: ۳۱٤-۲۹۹.

Adam, S. and Murthy, S. D. S. (2013) Role of polyamines and their effect on photosynthesis in plants. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences 4: 596-605.

Aebi, H. (1984) Catalase in vitro. Methods in Enzymology 105: 121-126.

Aghaie, P., Tafreshi, S. A. H., Ebrahimi, M. A. and Haerinasab, M. (2018) Tolerance evaluation and clustering of fourteen tomato cultivars grown under mild and severe drought conditions. Scientia Horticulturae 232: 1-12.

Ahmad, Z., Waraich, E. A., Ahmad, R. and Shahbaz, M. (2017) Modulation in water relations, chlorophyll contents and antioxidants activity of maize by foliar phosphorus application under drought stress. Pakistan Journal of Botany 49: 11-9.

Akram, N. A., Noreen, S., Noreen, T. and Ashraf, M. (2015) Exogenous application of trehalose alters growth, physiology and nutrient composition in radish (*Raphanus sativus* L.) plants under water-deficit conditions. Brazilian Journal of Botany 38: 431-439.

Akter, S., Rasul, M. G., Zakaria, M., Sarker, M. M., Nila, I. S., Dutta, S., Haque, M. M. and Rohman, M. M. (2018) effect of polyamine on pigmentation, reactive oxidative species and antioxidant under drought in maize (*Zea mays* L.). Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 6: 799-811.

Arjenaki, F. G., Jabbari, R. and Morshedi, A. (2012) Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4: 726-729.

Ataii, D., Naderi, R. and Khandan-Mirkohi, A. (2015) Exogenous putrescine delays senescence of Lisianthus cut flowers. Journal of Ornamental and Horticultural Plants 5: 167-174.

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

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

Celik, O., Ayan, A. and Atak, C. (2017) Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. Botanical Studies 58: 32.

Chance, B. and Maehly, A. C. (1955) Assay of catalases and peroxidases. Methods in Enzymology 2: 764-775.

Dastyran, M. (2015) Effect of humic acid and exogenous putrescine on vase life and leaf macro elements status of hydroponic cultured rose (*Rosa hybrid* cv.'Dolce Vita'). Agricultural Communications 3: 43-49.

Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Cheema, S. A. and Aziz, T. (2010) Drought stress: comparative time course action of the foliar applied glycinebetaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. Journal of Agronomy and Crop Science 196: 336-345.

Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T. A. N. N. A. Z. and Allahverdi, M. B. (2013) Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. Iranian Journal of Plant Physiology 3: 651-6.

Groppa, M. D. and Benavides, M. P. (2008) Polyamines and abiotic stress: recent advances. Amino Acids 34: 35.

Hassan, F. A. S., Ali, E. F. and Alamer, K. H. (2018) Exogenous application of polyamines alleviates water stress-induced oxidative stress of *Rosa damascena* Miller var. trigintipetala Dieck. South African Journal of Botany 116: 96-102.

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.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

Hossain, M. A., Mostofa, M. G. and Fujita, M. (2013) Cross protection by cold-shock to salinity and drought stress-induced oxidative stress in mustard (*Brassica campestris* L.) seedlings. Molecular Plant Breeding 4: 50-70.

Jin, R., Shi, H., Han, C., Zhong, B., Wang, Q. and Chan, Z. (2015) Physiological changes of purslane (*Portulaca oleracea* L.) after progressive drought stress and rehydration. Scientia Horticulturae 194: 215-221.

Kamiab, F. and Zamanibahramabadi, E. (2016) The effect of different polyamines on some physiological traits as ACC oxidase and superoxide dismutase enzymes activity in *Chrysanthemum morifolium* cv.'Bright Golden Ann'. Journal of Ornamental and Horticultural Plants 6: 2251-6433.

Khatana, M. A., Jahangir, M. M., Ayyub, C. M., Qadri, R. W. K., Azam, M., Ziaf, K., Ghani, M. A. and Iqbal, W. (2018) Response of morphological and chemical attributes of *Perennial Verbena* against drought stress. Open Access Library Journal 5: 1.

Kiranmai, K., Lokanadha Rao, G., Pandurangaiah, M., Nareshkumar, A., Amaranatha Reddy, V., Lokesh, U., Venkatesh, B., Anthony Johnson, A. M. and Sudhakar, C. (2018) A novel WRKY transcription factor, MuWRKY3 (*Macrotyloma uniflorum* Lam. Verdc.) enhances drought stress tolerance in transgenic groundnut (*Arachis hypogaea* L.) plants. Frontiers in Plant Science 9: 346.

Kubis, J., Floryszak-Wieczorek, J. and Arasimowicz-Jelonek, M. (2014) Polyamines induce adaptive responses in water deficit stressed cucumber roots. Journal of Plant Research 127: 151-158.

Kumar, S., Malik, A., Dahiya, D. S. and Kaur, M. (2018) Appraisal of asiatic hybrid lilium cultivars under polyhouse growing condition in semi-arid haryana. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7: 3389-3394.

Li, J., Yang, P., Gan, Y., Yu, J. and Xie, J. (2015) Brassinosteroid alleviates chilling-induced oxidative stress in pepper by enhancing antioxidation systems and maintenance of photosystem II. Acta Physiologiae Plantarum 37: 222.

Liao, T., Wang, Y., Xu, C. P., Li, Y. and Kang, X. Y. (2018) Adaptive photosynthetic and physiological responses to drought and rewatering in triploid *Populus* populations. International Journal for Photosynthesis Research 56: 578-590.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.

Ling, L., Jiangang, L., Minchong, S., Chunlei, Z. and Yuanhua, D. (2015) Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. Scientific Reports 5: 13033.

Liu, C. J., Wang, H. R., Wang, L., Han, Y. Y., Hao, J. H. and Fan, S. X. (2018) Effects of different types of polyamine on growth, physiological and biochemical nature of lettuce under drought stress. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

Lum, M. S., Hanafi, M. M., Rafii, Y. M. and Akmar, A. S. N. (2014) Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. Journal of Animal and Plant Sciences 24: 1487-1493.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1996) NaCl-induced senescence in leaves of rice (*oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Journal of Annals of Botany 78: 389-398.

Mustafavi, S. H., Shekari, F. and Maleki, H. H. (2016) Influence of exogenous polyamines on antioxidant defence and essential oil production in valerian (*Valeriana officinalis* L.) plants under drought stress. Acta Agriculturae Slovenica 107: 81-91.

Nahed, G. A. A., Lobna, S. T. and Soad, M. I. (2009) Some studies on the effect of putrescine, ascorbic acid and thiamine on growth, flowering and some chemical constituents of gladiolus plants at Nubaria. Ozean Journal of Applied Sciences 2: 169-179.

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

Rajera, S., Sharma, P. and Sharma, B. K. P. (2017) Effect of different growing media on growth and flower production of LA hybrid lily. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 2076-2089.

Recalde, L., Vazquez, A., Groppa, M. D. and Benavides, M. P. (2018) Reactive oxygen species and nitric oxide are involved in polyamine-induced growth inhibition in wheat plants. Protoplasma 1-13.

Rezvanypour, S., Hatamzadeh, A., Elahinia, S. A. and Asghari, H. R. (2015) Exogenous polyamines improve mycorrhizal development and growth and flowering of Freesia hybrida. Journal of Horticultural Research 23: 17-25.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Holaday, A. S. (1990) Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.

Sadak, M. S. (2016) Mitigation of drought stress on fenugreek plant by foliar application of trehalose. International Journal of Chem Tech Research 9: 147-155.

Sahitya, U. L., Krishna, M. S. R., Deepthi, R., Prasad, G. S. and Kasim, D. (2018) Seed antioxidants interplay with drought stress tolerance indices in chilli (*Capsicum annuum* L) seedlings. BioMed Research International 1-14.

Satish, L., Rency, A. S. and Ramesh, M. (2018) Spermidine sprays alleviate the water deficit-induced oxidative stress in finger millet (*Eleusine coracana* L. Gaertn.) plants. 3 Biotech 8: 63.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

Shaddad, M. A. K., El-Samad, M. H. A. and Mohammed, H. T. (2011) Interactive effects of drought stress and phytohormones or polyamines on growth and yield of two M (*zea maize* L.) genotypes. American Journal of Plant Sciences 2: 790.

Wen, X. and Moriguchi, T. (2015) Role of polyamines in stress response in horticultural crops. In Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants. 35-45.

Xiong, B., Ye, S., Qiu, X., Liao, L., Sun, G., Luo, J., Dai, L., Rong, Y. and Wang, Z. (2017) Exogenous spermidine alleviates fruit granulation in a *Citrus* cultivar (*Huang guogan*) through the antioxidant pathway. Acta Physiologiae Plantarum 39: 98.

Yamamoto, S., Yamagiwa, Y., Inaba, Z. and Handa, T. (2018) Morphological and simple sequence repeat analysis to clarify the diversity of natural *Lilium japonicum* and *L. auratum* hybrids in the hybrid zone of the Izu Peninsula, Japan. The Horticulture Journal 87: 115-123.

Zhang, W., Jiang, B., Li, W., Song, H., Yu, Y. and Chen, J. (2009) Polyamines enhance chilling tolerance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) through modulating antioxidative system. Scientia Horticulturae 122: 200-208.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]

Improvement of some physiological parameters of lily (*Lilium* spp.) under deficit irrigation conditions using foliar application of spermidine

Mojgan Omidian[1], Zeynab Roein[*1], Mohammad Ali Shiri[2]

[1] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University Ilam, Iran
[3] Horticulture Crops Research Department, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran
(Received: 21/02/2019, Accepted: 23/12/2019)

Abstract

Polyamines including spermidine play an important role in the tolerance of plants to water deficit stress. In order to investigate the effect of spermidine on physiological traits of Lilium under deficit irrigation stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Treatments included four levels of water deficit (100, 75, 50 and 25% of Field Capacity) and different levels of spermidine (0, 1 and 2mM). Based on the results, severe deficit irrigation (25% of FC) increased proline and electrolyte leakage compared to the control respectively by 174% and 55%. In contrast, decrease of carotenoids and proteins content (33% and 26%, respectively) were observed under severe deficit irrigation conditions compared to the well-watered conditions. Results showed that lower availability water in the lilium plants, stimulated higher activities of enzymes (catalase, ascorbate peroxidase, peroxidase) and malondialdehyde, but decreased chlorophyll content of leaves. Also, under severe stress (25% of FC), exogenous application of spermidine (2mM) enhanced the the activity of enzymes and decreased the level of malondialdehyde. Therefore, foliar application of spermidine (2mM) and mild stress level (75% of FC) were procedures capable to save water consumption and maintain the quality of Lilium shoot.

Keywords: Enzyme, Photosynthetic pigments, Proline, Electrolyte leakage

Corresponding author, Email: z.roein@ilam.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1399.9.36.13.6]