شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم
شماره یک (۴۵)
پائیز ۱۴۰۱

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۵/۰۶

صفحات: ۱۳۶-۱۲۵

اثر محلول‌پاشی پرولین و گلایسین‌بتائین بر شاخص‌های رشد، میزان پرولین و فعالیت آنزیمی گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) تحت تنش کم‌آبی

مجید خدابخش[۱] و الهام دانائی[۲*]

۱) دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران.
۲) استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: dr.edanaee@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: شمعدانی معطر گیاهی چندساله زینتی است که اسانس آن در صنایع عطرسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و داروسازی کاربرد دارد. کمبود آب، یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که تأثیر زیادی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی و آنزیمی گیاهان داشته و شانس نمو و بقای آنها را محدود می‌کند. استفاده از اسمولیت‌های آلی مانند پرولین و گلایسین‌بتائین از طریق افزایش ظرفیت و سرعت فتوسنتز، جذب برخی یون‌ها مانند منیزیم و پتاسیم، جلوگیری از تخریب ترکیب‌های رنگیزه-پروتئین و حفظ رنگریزه‌های گیاهی، تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، نقش مؤثری در مهار اثرات منفی کم‌آبی در گیاهان دارد. لذا هدف از پژوهش تعیین بهترین ماده و غلظت مؤثر در بهبود کیفیت و گلدهی شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی می‌باشد.

مواد و روش: قلمه‌های شمعدانی معطر در گلخانه‌ای تجاری با دمای حدود ۱۷ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد و شدت نور ۵۰ تا ۶۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در شهرستان کرج نگهداری شد. تغذیه با محلول هوگلند نیز یک‌بار در هفته صورت گرفت و به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدان‌ها، استفاده و آبیاری بر اساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به ظرفیت زراعی تعیین شده، انجام شد. محلول‌پاشی گیاهان با پرولین و گلایسین‌بتائین (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) دو هفته پس از استقرار قلمه‌ها در گلدان و پس از ۲۴ ساعت سطوح مختلف تنش کم‌آبی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به مدت یک ماه اعمال گردید. پس از اتمام اعمال تیمارها، برداشت نمونه‌ها و ارزیابی صفاتی مانند وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، آنتوسیانین گلبرگ‌ها، محتوای کلروفیل کل برگ، پرولین و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با دو عامل اعمال تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین و اثر متقابل آن‌ها در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. سپس آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SPSS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها در Excel انجام شد.

یافته‌ها: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی با ۶۷/۲۵ و ۸/۵۳ گرم و بیش‌ترین وزن ترو خشک ریشه با ۱۵/۶۲ و ۳/۴۵ گرم در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) و کم‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی با ۴۴/۷۶ و ۴/۴۵ گرم و کم‌ترین وزن تر و خشک ریشه با ۱۰/۵۷ و ۱/۱۷ گرم در تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) بود. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین آنتوسیانین گلبرگ با ۲/۸۹۲۵ و ۱/۵۳۷۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر و کلروفیل کل برگ با ۱۵/۳۷۳۵ و ۱۱/۱۶۳۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) و تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) بود. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان پرولین با ۳/۸۴ و ۱/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) و تیمار ظرفیت زراعی ۷۵ درصد+ پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز با ۲/۹۷ و ۱۶/۵۲ واحد آنزیم در گرم وزن تر در تیمار ظرفیت زراعی ۷۵ درصد+ گلایسین‌بتائین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کم‌ترین با ۱/۱۲ و ۱۲/۹۳ واحد آنزیم در گرم وزن تر در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) بدست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه با افزایش تنش کم‌آبی، کاهش یافت که این کاهش در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد بیشتر بود و محلول‌پاشی گیاهان با گلایسین‌بتائین و پرولین موجب مهار اثرات منفی تنش شد که این اثرات در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هر دو ترکیب نمایان‌تر بود. آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ در گیاه شمعدانی با افزایش تنش کم‌آبی، کاهش یافت و تیمار گیاهان با گلایسین‌بتائین و پرولین نقش مؤثری در بهبود رنگریزه‌های گیاهی داشت. هم‌چنین تنش کم‌آبی موجب افزایش میزان پرولین گردید. بیش‌ترین فعالیت آنزیمی در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد بود و با افزایش میزان تنش کم‌آبی، فعالیت آنزیمی کاهش یافت. محلول‌پاشی گیاهان با گلایسین‌بتائین و پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر توانست اثر منفی تنش کم‌آبی را در ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۵ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۲۵ درصد، کاهش دهد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از پژوهش می‌توان کاربرد اسمولیت‌های آلی از جمله گلایسین‌بتائین و پرولین را برای کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی در گیاهان زینتی توصیه نمود.

کلیدواژه‌ها: آنتوسیانین، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، کلروفیل

10.30495/WSRCJ.2022.20474

مقدمه

گیاه شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) گیاهی چندساله زینتی از تیره Geraniaceae است. ای‌ن‌گونه گیاهی، کند رشد، عموماً علفی با ساقه‌های بلند و برگ‌های گرد با حاشیه موج‌دار است. اسانس این گیاه دارای عطری خـوش شبیه بوی رز و سیب است که به‌طور وسیعی در صنایع عطرسازی، آرایشـی و بهداشتی، غذایی و داروسازی استفاده می‌شود (Yazdani and Pighambari, 2019).

گیاهان در دوره رشد نمو خود با تنش‌های زیستی و غی‌ر زی‌ستی متعددی مواجه می‌گردند، این تنش‌ها شانس نمو و بقای گیاهان را محدود می‌کنند. تنش کم‌آبی مهم‌تری‌ن عامل محدود کننده رشد گیاهان و تولید محصول در سراسر جهان می‌باشد و قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش خشکی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه از جمله هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، محتوای نسبی آب برگ، تنفس، تنظیم اسمزی، تجمع پرولین و هورمون‌ها تأثیرگذار است (Biglouie et al., 2010) که این اثر در گیاهان با توجه به گونه گیاهی، درجه و مدت زمان تنش و مرحله رشد متفاوت می‌باشد (Idress et al., 2010). گیاهان تحت تنش در برابر تأثیرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن به‌وسی‌له آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز) محافظت می‌شوند و در واقع این سیستم آنتی‌اکسیدانی موجب تحمل گیاهان به تنش می‌شود. هم‌چنین گیاهان با تجمع پرولین، پلی‌آمین، ترهالوز، افزایش فعالیت آنزیمی نیترات‌ردوکتاز، افزایش ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌سازی می‌تواند در برابر تنش ایجاد شده مقاومت کنند (Soroori et al., 2021). در گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) تنش کم‌آبی (۲۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب افزایش معنی‌دار میزان پرولین شد (Mirzaei et al., 2020). مطالعه اثرهای تنش خشکی بر رشد رویشی و تغییرات بیوشیمیایی شش گونه زینتی شامل نیلوفر درختچه‌ای (*Ipomoeacarnea*)، پانسانیا (*Delonix regia*)، شاهپسند درختچه‌ای (*Lantana camara*)، کاغذی (*Bougainvillea glabra*)، ناترک (*Dodonaea viscosa*) و شمشاد اهوازی (Clerodendron inerme) نشان داد که محتوای نسبی آب برگ، محتوای رنگدانه‌ای (کلروفیل a ،b و کارتنوئید) در تمام گونه‌های تیمار شده کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت (Rastegar et al., 2015). هم‌چنین تنش کم‌آبی در گل ماهور (*Verbascum thapsus*) به‌عنوان یکی از گیاهان زینتی فضای سبز موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در مرحله زایشی نسبت به تیمار شاهد در مرحله رویشی، گردید (Mohammadi et al., 2019).

پرولین یک ترکیب منحصر به فرد در ساختمان پروتئین‌ها است. در واقع به جز پرولین، همه اسیدهای آمینه در مولکول خود یک گروه آمینی و کربوکسیلی دارند که به‌واسطه اتصال به کربن آلفا α- اسیدآمینه خوانده می‌شود (Hassanzadeh et al., 2013). گلایسین‌بتائین نیز یک ترکیب آمفوتریک است که از نظر الکتریکی خنثی و در pH متفاوت فیزیولوژیک فعالیت دارد. این ماده دارای قدرت حل شوندگی بالا بوده و دارای یک بخش هیدروکربن غی‌ر قطبی است که شامل سه دسته متیل می‌باشد. خصوصیت مولکول گلایسین بتائین مانند ترکیب‌های پروتئینی و آنزیمی به آن اجازه می‌دهد که با ماکرومولکول‌های آب‌دوست و چربی‌دوست واکنش نشان دهد (Sharkey et al., 2007). این دو ترکیب از اسمولیت‌های آلی مهمی می‌باشند که در بسیاری از گیاهان در واکنش به تنش‌ها افزایش می‌یابد؛ اما همه گیاهان قادر به تولید این اسمولیت‌ها به‌مقدار کافی جهت مقابله با تنش نمی‌باشند، از این‌رو کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین و پرولین به‌عنوان راه‌حلی برای افزایش غلظت این ترکیبات در گیاهان، ممکن است بتواند گیاه را در مقابله با شرایط تنش یاری نماید (Vahid Dastgerdi and Ehsanpour, 2020). در گیاه بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) محلول‌پاشی پرولین (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش کم‌آبی (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تخلیه از حد ظرفیت زراعی) موجب کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز،

پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و پرولین درون‌زاد شد. هم‌چنین در این آزمایش محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌ها تحت تأثیر معنی‌دار برهمکنش کم‌آبی و کاربرد پرولین قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش شدت کم‌آبی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، پراکسیداز و میزان پرولین، افزایش و محتوای کلروفیل برگ‌ها، کاهش یافت (Darvizheh and Zavareh, 2018). کاربرد گلایسین‌بتائین (صفر، ۲، ٤، ۸ و ١٦ میلی‌مولار) در شرایط تنش خشکی (صفر، ۲/۰-، ٤/۰-، ٦/٦- و ۸/۰- مگاپاسکال) در مراحل جوانه‌زنی و رشد رویشی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) سبب افزایش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در تمام غلظت‌های گلایسین‌بتائین شد (Islami et al., 2011). محلول‌پاشی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) با پرولین (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش خشکی (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) موجب مهار اثرات منفی تنش خشکی و افزایش شاخص‌های رویشی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گردید (Soroori et al., 2021). بنابراین هدف از انجام پژوهش تعیین بهترین ماده و غلظت مؤثر در بهبود کیفیت و گلدهی شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شرح آزمایش: قلمه‌های شمعدانی معطر در گلخانه‌ای تجاری با دمای حدود ۱۷ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی حدود ٦۰ تا ۷۰ درصد و شدت نور حدود ۵۰ تا ٦۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه در شهرستان کرج نگهداری شد. تغذیه با محلول هوگلند نیز یک‌بار در هفته صورت گرفت و به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدان‌ها، استفاده و آبیاری بر اساس تغییر وزن خاک گلدان‌ها نسبت به ظرفیت زراعی تعیین شده، انجام شد. محلول‌پاشی گیاهان با پرولین و گلایسین‌بتائین (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) دو هفته پس از استقرار قلمه‌ها در گلدان و پس از ٢٤ ساعت سطوح مختلف تنش کم‌آبی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به مدت یک ماه اعمال گردید. اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی به‌روش وزنی و پس از اندازه‌گیری ظرفیت زراعی خاک انجام شد، ابتدا یکی از گلدان‌ها به‌صورت تصادفی، انتخاب و به‌طور کامل آبیاری شد. پس از خروج آب ثقلی از گلدان و ثابت شدن وزن گلدان، نمونه‌های خاک از گلدان مورد نظر برداشته و با ترازو وزن گردید (به‌عنوان وزن خاک مرطوب)، سپس نمونه خاک مرطوب در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ٤۸ ساعت قرارگرفته تا کاملاً خشک شود. پس از خشک شدن، نمونه خاک به‌وسیله ترازو وزن گردید (Soroori et al., 2021). به این ترتیب ظرفیت زراعی خاک با رابطه (۱) به دست آمد:

(۱)

ظرفیت زراعی خاک =(وزن تر خاک - وزن خشک خاک/ وزن خشک خاک)×۱۰۰

پس از اتمام اعمال تیمارها، برداشت نمونه‌ها و ارزیابی صفات مورد نظر انجام شد.

وزن تر اندام هوایی و ریشه، بلافاصله پس از برداشت و وزن خشک پس از ۷۲ ساعت قرارگیری در دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد، با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ توزین شد (Danaee and Abdossi, 2021).

آنتوسیانین گلبرگ‌ها با استفاده از ۰/۵ گرم گلبرگ که به کمک محلول استخراج متانول و اسیدکلریدریک ۱ نرمال سائیده شده، صورت گرفت. سپس جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در دو طول موج ۵۳۰ و ٦۵۷ نانومتر، قرائت و آنتوسیانین موجود در گلبرگ‌ها توسط رابطه (۲) محاسبه شد (Meng and Wang, 2004).

(۲)

آنتوسیانین گلبرگ= $A_{530nm}-A\ A_{657nm}$= میزان جذب نور

محتوای کلروفیل کل برگ با قرائت جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ٦٤۵ و ٦٦۳ نانومتر، اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ طبق رابطه (۳) بیان شد (Arnon, 1949).

(۳) میزان جذب نور=A (A_{663nm})۸/۰۲+(A_{645nm})۲۰/۲ =کلروفیل کل برگ

میزان پرولین با قرائت جذب فاز فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر، اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بیان شد. منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌های استاندارد پرولین (صفر تا ۵۰ میکرومولار) تهیه گردید (Bates et al., 1973).

برای سنجش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، ابتدا عصاره آنزیم از یک گرم برگ تهیه شد (Ezhilmathi et al., 2007). سپس فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در طول موج ۵۶۰ نانومتر (Bayer and Fridovich, 1987) و فعالیت آنزیم پراکسیداز مطابق با قرائت تغییرات جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Putter, 1974). در نهایت فعالیت آنزیم‌ها برحسب واحد آنزیم بر گرم وزن تر بیان گردید.

طرح آزمایشی و تجزیه و تحلیل داده‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با دو عامل اعمال تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین و اثر متقابل آن‌ها اجرا گردید. آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS23 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ و ۱٪ انجام گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel16 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین و پرولین بر وزن تر و وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای کلروفیل کل برگ، میزان پرولین، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۱٪ و بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ و فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح ۵٪، معنی‌دار است. اثر تنش کم‌آبی بر وزن تر و وزن خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای آنتوسیانین گلبرگ، میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۱٪ و بر محتوای کلروفیل کل برگ در سطح ۵٪، معنی‌دار است. هم‌چنین اثر متقابل محلول‌پاشی× کم‌آبی بر وزن تر و وزن خشک اندام هوایی و ریشه، میزان پرولین و فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح ۱٪ و بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح ۵٪، معنی‌دار است.

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب با ۶۷/۲۵ و ۸/۵۳ گرم در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) و کم‌ترین با ۴۴/۷۶ و ۴/۴۵ گرم در تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) بود. بیش‌ترین

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی برگی گلایسین‌بتائین و پرولین بر شاخص‌های رویشی شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی

منبع تغییرات	میانگین مربعات									
	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	آنتوسیانین گلبرگ	کلروفیل کل برگ	پرولین	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز
محلول‌پاشی	۴	۱۷/۲۱۴**	۳/۲۷۲**	۱۱/۳۴۷**	۲/۶۰۴**	۱/۴۱۵*	۱۲/۱۶۳**	۲/۳۵۶**	۲/۱۴۷**	۱۳/۵۶۵*
کم‌آبی	۳	۲۴۰/۷۲۹**	۲۵/۱۴۵**	۶۷/۱۹۲**	۲۱/۰۶۵**	۶/۹۶۷**	۷۵/۰۶۹*	۹/۲۸۳**	۸/۳۴۲**	۵۶/۳۱۶**
محلول‌پاشی× کم‌آبی	۱۲	۴۱/۳۹۱**	۸/۷۳۱**	۳۲/۹۲۶**	۱۳/۵۱۲**	۲/۱۶۴*	۲۷/۲۷۴*	۳/۴۱۲**	۴/۳۷۵*	۳۲/۶۴۱**
اشتباه آزمایشی	۴۰	۰/۲۹۳	۰/۰۲۸	۰/۰۴۸	۰/۰۲۵	۰/۰۱۱	۰/۰۴۶	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۶۳
ضریب تغییرات (٪)	---	۱۲/۵۳	۱۱/۳۱	۱۰/۲۶	۸/۵۲	۱۰/۹۹	۱۰/۳۰	۹/۷۱	۱۲/۰۹	۱۱/۸۲

**، *، ns به ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار

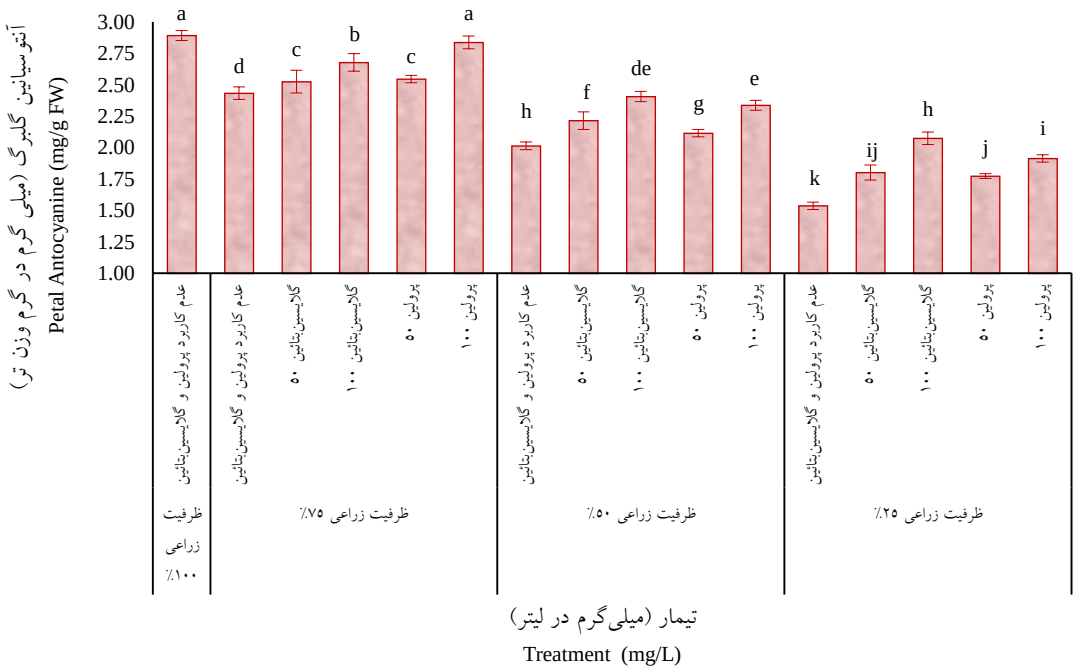
و کم‌ترین وزن تر ریشه به ترتیب با ۱۵/۶۲ و ۱۰/۵۷ گرم در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) و تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد و بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ریشه به ترتیب با ۳/۴۵ و ۱/۱۷ گرم در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) و تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) به دست آمد (جدول ۲). نتایج پژوهش نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه با افزایش تنش کم‌آبی، کاهش یافت که این کاهش در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد بیشتر بود. محلول‌پاشی شمعدانی‌های معطر با غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین و پرولین موجب مهار اثرات منفی تنش شد که این اثرات در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر هر دو ترکیب نمایان‌تر بود. کاهش شاخص‌های رویشی گیاه در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند به علت عدم دسترسی کافی به آب برای تورژسانس سلول‌ها و در نتیجه کاهش رشد و تقسیم سلولی باشد و این کاهش موجب کاهش توانایی گیاه برای جذب آب، نور و در نهایت تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد که می‌تواند دلیلی بر کاهش رشد گیاه و وزن اندام‌ها در شرایط تنش کم‌آبی باشد (Rostami karimi et al., 2020–et al., 2019). اسمولیت‌های آلی از جمله گلایسین‌بتائین و پرولین، رشد گیاه را از طریق افزایش ظرفیت و سرعت فتوسنتز، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و افزایش جذب برخی یون‌ها مانند منیزیم که برای سنتز کلروفیل مؤثر است، افزایش می‌دهد (Sodaii Zadeh et al., 2016). هم‌چنین این ترکیبات موجب افزایش میزان پتاسیم گیاه می‌شود که نتیجه آن، افزایش سطح برگ و افزایش تولیدات فتوسنتزی و رشد رویشی گیاه است. افزایش فسفر قابل دسترس برای سوخت و ساز در گیاهان که موجب افزایش سرعت فتوسنتز و در نتیجه رشد رویشی گیاهان می‌گردد نیز از سایر اثرات این ترکیبات می‌باشد (Petropoulos et al., 2008). در کاسنی (*Cichorium intybus*) کاهش رشد رویشی در شرایط تنش کم‌آبی به دلیل کاهش تقسیمات سلولی، اختلال در فتوسنتز، کاهش تولید مواد فتوسنتزی جهت ارائه به بخش‌های در حال رشد مشاهده شد (Mortezaei Nejad and Jerziyadeh, 2017). استفاده از اسمولیت‌های آلی در شرایط تنش کم‌آبی در گل مریم (*Polianthes tuberose*) موجب بهبود شاخص‌های رویشی از طریق بهبود فتوسنتز و عناصر غذایی قابل دسترس گردید (Zekavati et al., 2019).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی برگی گلایسین‌بتائین و پرولین بر شاخص‌های رویشی شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی

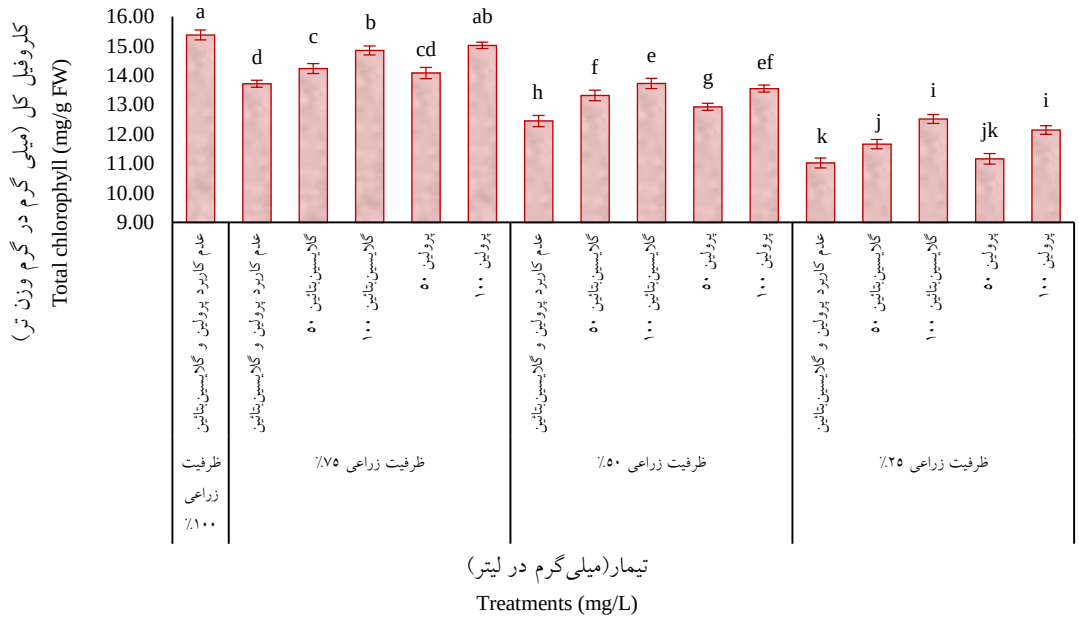
ظرفیت زراعی (درصد)	گلایسین‌بتائین و پرولین (میلی‌گرم در لیتر)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)
۱۰۰	عدم کاربرد گلایسین‌بتائین و پرولین (شاهد)	٦٧/٢٥^{a}	٨/٥٣^{a}	١٥/٦٢^{a}	٣/٤٥^{a}
	عدم کاربرد گلایسین‌بتائین و پرولین (شاهد)	٦٦/٧٨^{a}	٨/٤٢^{a}	١٥/٤١^{b}	٣/٣٨^{a}
۷۵	گلایسین‌بتائین ۵۰	٦١/٠٥^{d}	٧/٠٥^{e}	١٤/٣٢^{e}	٢/٧١^{cd}
	گلایسین‌بتائین ۱۰۰	٦٣/١٨^{c}	٧/٨١^{c}	١٥/٠٢^{c}	٣/٠٢^{bc}
	پرولین ۵۰	٦١/٧٢^{d}	٧/٣٦^{d}	١٤/٧٦^{d}	٢/٨٧^{c}
	پرولین ۱۰۰	٦٤/٥٨^{b}	٨/١٢^{b}	١٥/٢٧^{bc}	٣/١٩^{b}
۵۰	عدم کاربرد گلایسین‌بتائین و پرولین (شاهد)	٥٣/٢٤^{i}	٥/٧٤^{hi}	١٢/٣٤^{h}	٢/٠٤^{h}
	گلایسین‌بتائین ۵۰	٥٦/٣٢^{g}	٦/١١^{h}	١٢/٨٥^{gh}	٢/٣٥^{f}
	گلایسین‌بتائین ۱۰۰	٥٨/٤٧^{ef}	٦/٥٩^{f}	١٣/٤٨^{f}	٢/٥٧^{e}
	پرولین ۵۰	٥٧/١١^{f}	٦/٣٧^{g}	١٣/١١^{g}	٢/٤٦^{ef}
	پرولین ۱۰۰	٥٩/٢٩^{e}	٦/٨٤^{ef}	١٣/٩٥^{ef}	٢/٦٨^{d}
۲۵	عدم کاربرد گلایسین‌بتائین و پرولین (شاهد)	٤٤/٧٦^{l}	٤/٤٥^{m}	١٠/٥٧^{l}	١/١٧^{l}
	گلایسین‌بتائین ۵۰	٤٩/٢٣^{k}	٤/٧٧^{l}	١١/٠٢^{k}	١/٥٩^{k}
	گلایسین‌بتائین ۱۰۰	٥٣/٤٥^{hi}	٥/٤٢^{j}	١١/٨٤^{i}	٢/٠٣^{i}
	پرولین ۵۰	٥١/٨٩^{j}	٥/٠٩^{k}	١١/٣٩^{j}	١/٧٥^{j}
	پرولین ۱۰۰	٥٤/٦٦^{h}	٥/٦٣^{i}	١٢/٢٦^{hi}	٢/٢١^{g}

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است

محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای آنتوسیانین گلبرگ به ترتیب با ۲/۸۹۲۵ و ۱/۵۳۷۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) و تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) بود. بیش‌ترین کلروفیل کل برگ در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) با ۱۵/۳۷۳۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر و کم‌ترین در تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) با ۱۱/۱۶۳۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر به دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲). کم‌آبی یکی از تنش‌های محیطی است که روی بیشتر مراحل رشد، ساختار و فعالیت‌های گیاهی آثار مخرب و زیان‌آوری دارد. پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی در سطوح ریخت‌شناسی، سلولی و مولکولی متفاوت است. توانایی گیاهان برای سازش به این تنش به نوع، شدت تنش و هم‌چنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش بستگی دارد (Rahbarian et al., 2011). بررسی داده‌های پژوهش نشان داد که محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ در گیاه شمعدانی با افزایش تنش کم‌آبی، کاهش یافت. تیمار شمعدانی‌های معطر با سطوح مختلف گلایسین‌بتائین و پرولین نقش مؤثری در بهبود رنگریزه‌های گیاهی داشت. در گیاه سالویا (*Salvia macrosiphon Boiss*) کاهش محتوای رنگریزه‌های گیاهی با افزایش تنش کم‌آبی همبستگی معنی‌داری نشان داد (Sodaii Zadeh et al., 2016). در گل ماهور (*Verbascum thpasus*) نیز تنش کم‌آبی موجب کاهش کلروفیل گردید (Mohammadi et al., 2019). افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در شرایط تنش کم‌آبی موجب تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی، غشاء سلولی و کلروپلاستی و در نتیجه کاهش توانایی فتوسنتز و متعاقب آن ماده خشک گیاه می‌گردد (Sanjari –Savari et al., 2009 Mijani et al., 2015). کاربرد اسمولیت‌های سازگاری مانند پرولین و گلایسین‌بتائین می‌تواند با جلوگیری از تخریب ترکیب‌های رنگیزه–پروتئین موجب حفظ و ثبات رنگریزه‌های گیاهی از جمله آنتوسیانین و کلروفیل گردد (Ghaffari and Religion, 2019). در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)، محلول‌پاشی گیاهان با پرولین در شرایط تنش کم‌آبی (۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش اثرات منفی کم‌آبی بر محتوای رنگیزه‌های گیاهی و تخریب آن‌ها شد (Soroori et al., 2021).

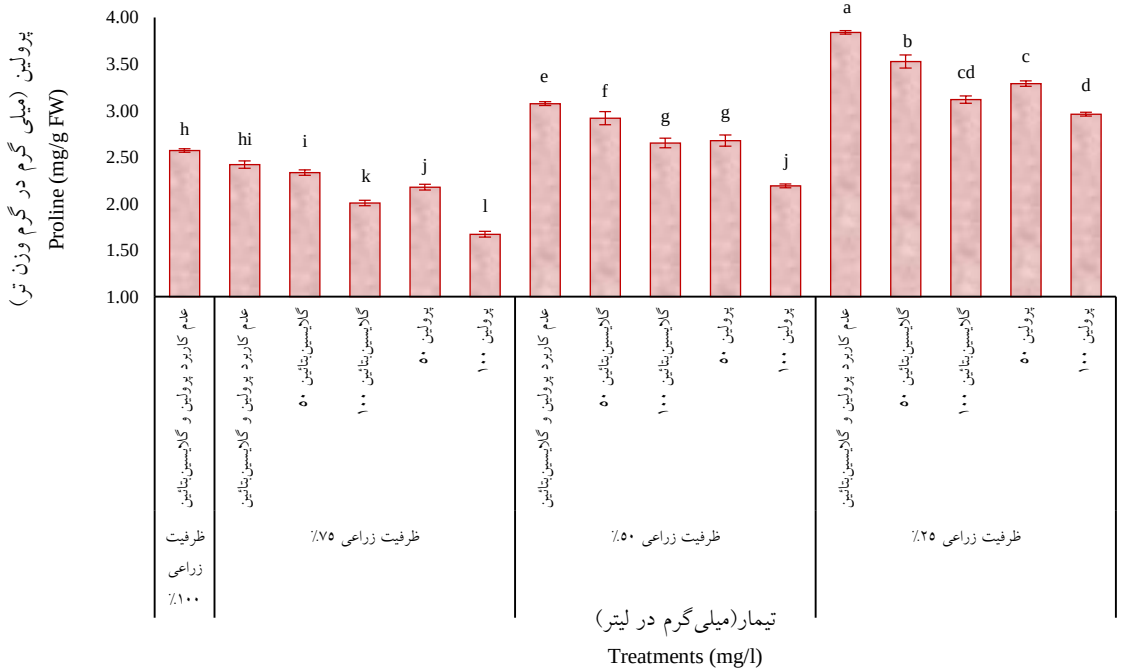


شکل ۱. اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین بر محتوای آنتوسیانین گلبرگ



شکل ۲. اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین بر محتوای کلروفیل کل برگ

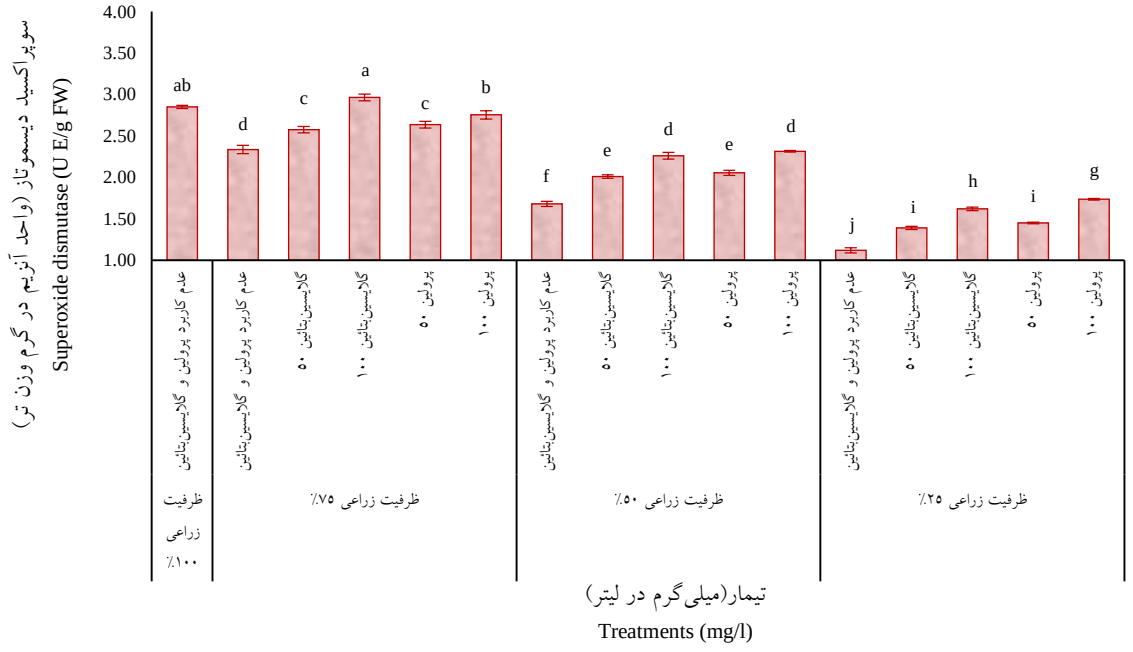
میزان پرولین: نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان پرولین به ترتیب با ۳/۸٤ و ۱/٦۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر در تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) و تیمار ظرفیت زراعی ۷۵ درصد+ محلول‌پاشی پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۳). در پژوهش حاضر، تنش کم‌آبی موجب افزایش میزان پرولین گردید. محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف گلایسین‌بتائین و پرولین موجب کاهش میزان پرولین در گیاهان شد. یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش کم‌آبی بیوسنتز و تجمع مواد آلی با وزن مولکولی کم (پرولین) است، این مواد به عنوان تنظیم کننده‌های اسمزی جهت حفاظت فعالیت آنزیم‌ها و ساختمان ماکرومولکول‌ها در سلول نیز مطرح شده‌اند. در شرایط تنش کم‌آبی میزان تولید پرولین برای ایجاد مقاومت).



شکل ۳. اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین بر میزان پرولین

در گیـاه و شـرکت در فرآینـد تنظیم اسمزی افزایش می‌یابد (Vendruscolo et al., 2020). در گیاه کاسنی (*Cichorium intibus*) افزایش میزان پرولین تحت تنش کم‌آبی گزارش شده است (Ramroodi et al., 2017). تنش کم‌آبی در گیاه همیشه‌بهار (تیپ دارویی و تیپ زینتی) نیز موجی افزایش تجمع پرولین گردید (Ebrahimi et al., 2017). محلول‌پاشی شمعدانی‌های معطر با پرولین و گلایسین‌بتائین در این پژوهش موجب کاهش تجمع پرولین در شرایط تنش کم‌آبی شد. در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، کاربرد برون‌زای گلایسین‌بتائین (Taghdisi Sayyar et al., 2015) و در بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*)، محلول‌پاشی با پرولین در شرایط تنش کم‌آبی تجمع پرولین را کاهش داد (Darvizheh and Zavareh, 2018).

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز به ترتیب با ۲/۹۷ و ۱۶/۵۲ واحد آنزیم در گرم وزن تر در تیمار ظرفیت زراعی ۷۵ درصد+ محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کم‌ترین با ۱/۱۲ و ۱۲/۹۳ واحد آنزیم در گرم وزن تر در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) به دست آمد (شکل‌های ۴ و ۵). گیاهـــان به‌طور طبیعی دارای سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی پیچیده‌ای برای دوری از اثرات مضر گونه‌های اکسیژن فعال هستند. در شـرایط تنش‌هـای محیطـی از جمله کم‌آبی میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال افزایش می‌یابد. در ایـــن شـــرایط، گیاهانی که دارای سطوح بالای آنتی‌اکسیدانی هستند، در برابر خسارات اکسـیداتیو مقـاوم‌تـرند، زیرا می‌توانند انـواع گونه‌های اکسـیژن‌های فعـال را بـه صورت‌های مؤثر ساختمانی تبدیل نمایند (Lei et al., 2007). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیمی در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد بود و با افزایش میزان تنش کم‌آبی، فعالیت آنزیمی کاهش یافت. محلول‌پاشی شمعدانی‌های معطر با گلایسین‌بتائین و پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر توانست اثر منفی تنش کم‌آبی را در ظرفیت زراعی ۵۰ و ۷۵ درصد نسبت به ظرفیت زراعی ۲۵ درصد، کاهش دهد. محلول‌پاشی پرولین در گل مریم (*Polianthes tuberose*) موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش کم‌آبی گردید (Alipour et al., 2016).



شکل ٤. اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

شکل ۵. اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی با پرولین و گلایسین‌بتائین بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از محلول‌پاشی پرولین و گلایسین‌بتائین بر شاخص‌های رشد، میزان پرولین و فعالیت آنزیمی در گیاه شمعدانی معطر تحت تنش کم‌آبی نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای آنتوسیانین گلبرگ و کلروفیل کل برگ در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد (شاهد) و تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) بود. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان پرولین به ترتیب در تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) و تیمار ظرفیت زراعی ۷۵ درصد+ محلول‌پاشی پرولین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز به ترتیب در تیمار ظرفیت زراعی ۷۵ درصد+ محلول‌پاشی گلایسین‌بتائین ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد (بدون محلول‌پاشی) مشاهده شد. هم‌چنین اثرات محلول‌پاشی شمعدانی معطر گلایسین‌بتائین و پرولین در غلظت بالاتر و در ظرفیت زراعی ۷۵ درصد، مشهودتر بود. لذا با توجه به نتایج حاصل از پژوهش می‌توان محلول‌پاشی پرولین و گلایسین‌بتائین را جهت کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی در گیاه شمعدانی معطر پیشنهاد نمود.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول می‌باشد که در مقاله آورده شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله نویسنده در انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌ها مشارکت داشته و نویسنده دوم، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله را انجام دادند.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان می‌باشد.

Reference:

Alipour, S., Farahmand, F., & Nasibi, F. (2016). Influence of proline treatment on some physiological morphological characteristics and postharvest life of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). Plant Process and Function, 4 (14): 114-106. DOI: 20.1001.1.23222727.1394.4.14.3.7.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in vulgaris. Plant Physiology, 24(1): 1–15.

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

Bayer, W.F., & Fridovich, I. (1987). Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in condition. Annals Biochemistry, 161: 559–566.

Biglouie, M.H., Assimi, M.H., & Akbarzadeh, A. (2010). Effect of water stress at different stages on quantity and quality traits of Virginia (flue cured) tobacco type. Plant Soil Environment, 2; 67-75. DOI.org/10.17221/163/2009-PSE.

Danaee, E., & Abdossi, V. (2021). Effects of silicon and nano-silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(1): 98-112. DOI: 10.22092/ijmapr.2021.343340.2810. [In Persian]

Darvizheh, H., & Zavareh, M. (2018). Effects of proline foliar application on alleviation of water deficit in German chamomile. Agroecology Journal, 51(1): 33-43. DOI: 10.22034/aej.2018.541280. [In Persian]

Ebrahimi, M., Zamani, Gh. R., & Alizadeh, Z. (2017). A study on the effects of water deficit on physiological and yield-related traits of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33(3): 492-508. DOI: 10.22092/ijmapr.2017.105627.1734. [In Persian]

Ezhilmathi, K., Singh, V., Arora, P., & Sairam, R.K. (2007). Effect of 5-sulfocalicylic acid on antioxidant in relation to vase life of gladiolus cut flower. Plant Growth Regulation, 51, 99-108.

Ghaffari, H., & Religion, M.R. (2019). Effect of foliar application of proline and salicylic acid on some physiological parameters of soybean (*Glycine max* L.) under saline irrigation conditions. Journal of plant process and function, 8(29), 125-138. DOI: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.5.7. [In Persian]

Hassanzadeh Fard, Sh., & Arvin, M.J. (2013). The role of glycine betaine and proline in increasing drought resistance by emphasizing its functional aspects. The first national conference on agricultural sciences with emphasis on abiotic stresses. Payame Noor University. [In Persian]

Idress, M., Nadeem. M., & Hassan, M.M. (2010). Investigation of conduction and relaxation phenomena in La Fe, Ni,O_3 by impedance spectroscopy. Journal of Physics D Applied Physics, 43(9): 155401. DOI: 10.1088/0022-3727/43/15/155401.

Islami, S.V., Behdani, M.A., Siyarizhan, M.H., & Hope, M. (2011). The effect of glycine-betaine on germination and vegetative growth stages of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and soybean (*Glycine max* L.) plants under salinity, drought and cold stress conditions. Master Thesis. Birjand University. [In Persian]

karimi, S., Zahedi, B., & Mumivand, H. (2020). Evaluation of the effect of drouth stress on growth, esential oil and some physiological traits of four Basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. Journal of plant production research, 27 (2): 201-213. DOI: 10.22059/ijhs.2019.269897.1541.

Lei, Y., Yin, C., Ren, J., & Li, C. (2007). Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. Biologia Plantarum, 516: 386-390. Corpus ID: 201028313.

Meng, X., & Wang, X. (2004). Relation of flower development and anthocyanin accumulation in Gerbera hybride. Horticulture Science Biotechnology, 79, 131-137.

Mirzaei, M., Ladan Moghadam, A., Hakimi, L., & Danaee, E. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) improve plant growth, antioxidant capacity, and essential oil properties of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) under water stress. Iranian Journal of Plant Physiology, 10 (2): 3155-3166. DOI: 10.22034/ijpp.2020.672574.

Mohammadi, Z., Azadi, P., Ghanbari Jahromi, M., & Galebi, S. (2019). Evaluation of resistance to low water stress in dahlia (*Verbascum Thapsus*) and its introduction as an ornamental plant in urban green space. Journal of Plant Production Research, 26 (4): 243-227. DOI: 10.22069/jopp.2019.15884.2439. [In Persian]

Mortezaei Nejad, F., & Jerziyadeh, A. (2017). Effects of Water stress on Morphological and Physiological Indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. Journal of plant process and function, 6 (21): 279-290. DOI: 20.1001.1.23222727.1396.6.21.27.9. [In Persian]

Petropoulos, S.A., Dimitra, D., Polissiou, M.G., & Passam, H.C. (2008). The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115: 393-397.

Putter, J. (1974). In: Methods in enzymatic analysis, 2 (Ed Bergmeyer, A) Academic press. New York, P. 685.

Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R.A., Ganjeali, A., Bagheri, A., & Najafi, F. (2011). Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 53: 47-56. DOI: 10.2478/v10182-011-0007-2.

Ramroodi, M., Rezaieenia, N., Gloeie, M., & Frozandeh, M. (2017). The effect of biological fertilizers on physiological properties and nutrients uptake of Cichorium intibus under drought stress. Iranian Journal of Field Crops Research, 15 (4): 25-32. https://jcesc.um.ac.ir/.../59774.

Rastegar, S., Zakeri,O., & Zakeri, B. (2015). Effects of drought stress on vegetative growth and biochemical changes of six ornamental species in tropical. Journal of plant process and function, 5(16): 157-164. [In Persian]

Rostami, Gh., Moghaddam, M., Saeedi Pooya, E., & Ajdanian, L. (2019). The effect of humic acid foliar application on some morphophysiological and biochemical characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L.) in drought stress conditions. Enviromental Stresses in Crop Sciences, 12 (1): 95-110. DOI: 10.22077/escs.2018.1296.1264.

Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A., & Fakheri, B. (2015). Effect of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of (*Hibiscus sabdarifa*). Agriculture Cultivate, 17 (2): 414-403. DOI: 10.22059/jci.2015.55189.

Savari, A., Fotokian, M., & Barzali, M. (2009). Evaluation of glycine betaine effects on some agronomic traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars under water-droughts stress. Journal of Daneshvar Agronomy Sciences, 1(1): 67-76.

Sharkey, T.D., Carl, J.B., Graham, D.F., & Singsaas, E.L. (2007). Fitting photosynthetic carbondioxide response curves for C_3 leaves. Plant Cell Environ, 30, 1035-1040. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2007.01710.x.

Sodaii Zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady Maibody, A.M., & Hakim Zadeh, M. A. (2016). The Effects of Water Stress on Some Morphological and Physiological Characteristics of *Satureja Hortensis*. Journal of Plant Process and Function Iranian Society of Plant Physiology, 5 (15): 1-12.

Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, KH., & Ladan Moghadam, A.R. (2021). Effect of Foliar Application of Proline on Morphological and Physiological Traits of *Calendula officinalis* L. under drought Stress. Journal of Ornamental Plants, 11(1): 13-30. DOI: 20.1001.1.22516433.2021.11.1.1.8.

Taghdisi Sayyar, M., Enteshari, Sh,. & Daneshmand, F. (2015). The interaction of exogenous glycine betaine and water deficit on some physiologic characteristic of tomato (*Lycopersicun esculentum* Mill.) plants. Journal of plant process and function, 5(17): 109-120. DOI: 20.1001.1.23222727.1395.5.17.3.0. [In Persian]

Vahid Dastgerdi, M., & Ehsanpour, A.A. (2020). The effect of exogenous glycinebetaine on proline and salt tolerance of transgenic tobacco (*Nicotiana tabacum*) plant under in vitro culture. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(4): 815-825. DOI: 20.1001.1.23832592.1398.32.4.7.6. [In Persian]

Yazdani, A., & Pighambari, S.M. (2019). A review of the biological properties of Pelargonium. First national conference on natural resources, medicinal plants and traditional medicine. Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran. [In Persian]

Zekavati, H.R., Shoor, M., Rohani, H., Fazeli kakhki, S.F., & Ganji Moghadam, E. (2019). Impact of Trichoderma (65 Fungus) on Morphological and Biochemical Traits of Tuberose under Drought Stress. Journal of Agricultural Crops Production, 21(1): 62-72. [In Persian]

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 12
No. 1 (45)
Autumn 2022

Received:
2022-05-12

Accepted:
2022-07-28

Pages: 125-136

The Effect of Foliar Application of Proline and Glycine-Betaine on Growth Indices, Proline Content and Enzymatic Activity of Aromatic Geranium (*Pelargonium Graveolens*) Under Low Water Stress

Majid Khodabakhsh[1] and Elham Danaee[2*]

1) M.Sc student, Department of Horticulture, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran.
2) Assistant Professor, Department of Horticulture, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran.
*Corresponding author email: dr.edanaee@yahoo.com

Abstract:

Background and Aim: Aromatic geranium is an ornamental perennial plant which its essential oil is used in perfumery, cosmetics, food and pharmaceutical industries. Water scarcity is one of the most important environmental stresses limiting plants' growth and yield, which greatly impacts the morphophysiological, biochemical and enzymatic properties of plants and limits their development and survival. Using organic osmolytes such as proline and glycine-betaine increase the capacity and speed of photosynthesis, absorb ions such as magnesium and potassium, prevent the degradation of pigment-protein compounds, maintain plant pigments, strengthen the antioxidant system, and impact in inhibiting the adverse effects of water scarcity in plants. Thus, the aim of this study is to determine the best substance and effective concentration improving the quality and aromatic geraniums flowering under water scarcity stress.

Methods: Aromatic geranium cuttings were kept in commercial greenhouses with a temperature of about 17 to 20 C°, 60 to 70% relative humidity and light intensity of about 50 to 60 µm/m^{2}S in Karaj city. Feeding with Hoagland solution was done once a week and in order to measure the soil moisture, the potting system was used, and irrigation was carried out based on the soil weight change according to the determined field capacity (FC). Foliar spraying with proline and glycine betaine (0, 50 and, 100 mg/l) was applied for a month after two weeks of placing the cuttings in pots and 24 hours of being at different levels of low scarcity stress (25, 50, 75 and, 100% field capacity), sequently. After completing the treatments, sampling and evaluating of traits such as fresh and dry weight of shoots and roots, petals anthocyanin, total leaf chlorophyll, proline and activity of superoxide dismutase and peroxidase enzymes were performed. The experiment was performed in 2019 as a factorial experiment in a completely randomized statistical design with two factors of applying water scarcity stress and spraying with proline and glycine-betaine and their interaction. Then, data were analyzed using SPSS, the means were compared with Duncan's multiple domain and graphs were drawn in Excel.

Results: Data means comparison showed that the highest fresh and dry weight of shoots with 67.25 and 8.53 g and the highest fresh and dry weight of roots with 15.62 and 3.45 g were observed in 100% FC (control) and the lowest shoot fresh and dry weight with 44.76 and 4.45 g and the lowest fresh and dry weight of roots with 10.57 and 1.17 g, were in 25% FC treatment (without foliar application). Also, the highest and lowest petals anthocyanin with 2.8925 and 1.5775 mg/g FW and total leaf chlorophyll with 15.3735 and 11.1632 mg/g FW were in 100% FC (control) and 25% FC treatment (without foliar application). The highest and lowest proline levels were 3.84 and 1.67 mg/g of FW in 25% FC treatment (without foliar application) and 75% FC treatment + 100 mg/l of proline. The highest activity of superoxide dismutase and peroxidase enzymes with 2.97 and 16.52 UE/g of FW in 75% FC + glycine-betaine 100 mg/l treatment and the lowest with 1.12 and 12.93 UE/g FW in 25% FC treatment (without foliar application), was obtained.

Conclusion: The results demonstrate that the fresh and dry weight of shoots and roots decreased with increasing water scarcity stress, which this reduction was in 25% or more of field capacity and foliar application of plants with glycine betaine and proline inhibited the negative effects of stress at a concentration of 100 mg/l, both combinations were more visible. Petal anthocyanin and total leaf chlorophyll dropped with rising water scarcity stress and, treatment of plants with glycine betaine and proline had an effective role in ameliorating plant pigments. In addition, proline levels are increased by water scarcity stress. The highest enzyme activity was in 75% FC and with increasing water scarcity stress, enzyme activity reduced. Foliar application of plants with glycine betaine and 100 mg/l proline reduced the negative effect of water stress in 50 and 75% FC compared to 25% FC. Hence, according to the research results, the use of organic osmolytes such as glycine betaine and proline can be recommended to decrease the negative effects of water scarcity stress in ornamental plants.

Keywords: Anthocyanin, Chlorophyll, Peroxidase, Superoxide dismutase

10.30495/WSRCJ.2022.20474