DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

بررسی اثر تنش خشکی و سدیم نیتروپروساید بر شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیمی گیاه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*)

الهام دانائی[1*] و وحید عبدوسی[2]

[1] **ایران، گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار، گروه علوم باغبانی**

[2] **ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم باغی و زراعی**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۵

چکیده

خشکی یکی از عمده‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدود کننده رشد و تولید محصول گیاهان می‌باشد. سدیم نیتروپروساید بعنوان یک ترکیب رهاکننده اکسیدنیتریک نقش مهمی در پاسخ به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و کنترل رشد و نمو گیاهان دارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر سدیم نیتروپروساید بر کاهش اثرات تنش خشکی در مرزه تابستانه است که گیاهی با اسانس فراوان و پرکاربرد در صنایع غذایی و دارویی می‌باشد. به این منظور اثر سدیم نیتروپروساید (۰، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار) و سطوح مختلف خشکی (۲۵،۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) در سال ۱۳۹۸ و در شرایط گلخانه بصورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بر شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیمی، بررسی شد. گیاهان در مرحله ۶ تا ۸ برگی با سدیم نیتروپروساید محلول‌پاشی شدند، پس از ۲۴ ساعت، خشکی نیز اعمال گردید. مرحله دوم اعمال تیمارها هم یک هفته پس از اولین مرحله بود و پس از دو هفته شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد، افزایش سطوح تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، محتوای کلروفیل و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، فنل، پرولین و درصد اسانس اندام هوایی گردید. تیمار همزمان خشکی و سدیم نیتروپروساید با کاهش معنی‌دار تنش اکسیداتیو حاصل از خشکی، پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد. بیشترین درصد اسانس (۱/۷۱٪) در محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید۵۰ میکرومولار و در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد بدست آمد. در مجموع محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گیاه مرزه شد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم آنتی‌اکسیدان، تنش خشکی، سدیم نیتروپروساید، مرزه.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۵۳۵۶۹۴۷ ، پست الکترونیکی: e.danaee@iau-garmsar.ac.ir

مقدمه

مرزه گیاهی از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) و جنس *Satureja* است که ۱۲ گونه علفی یکساله و چندساله دارد و ۸ گونه آن مختص ایران است (۲۰). مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) و مرزه کوهی (*Satureja montana* L.) تنها گونه‌های این جنس هستند که بعنوان سبزی خوراکی، ادویه‌ای یا گیاه دارویی در سطح جهان و در ایران کشت می‌شوند (۲۲). ترکیب‌های اصلی اسانس مرزه تابستانی، فنل‌هایی مانند کارواکرول، تیمول و همچنین پارا– سیمن، بتا– کاریوفیلن و لینالول هستند و ترکیب‌های اصلی اسانس مرزه زمستانی را فنل‌های کارواکرول و تیمول و نیز پارا–سیمن، لینالول، ترپینئول، بورنئول و اسیدهای مختلف آلی تشکیل می‌دهند (۴۴). اسانس این گیاه به طور گسترده‌ای بعنوان آنتی‌اکسیدان و عامل ضدمیکروبی در صنایع غذایی و دارویی استفاده

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

می‌شود (۱۹). همچنین سرشاخه‌های گلدار و بطور کلی قسمت‌های هوایی گیاه مرزه که معمولاً در زمان گلدهی چیده می‌شوند، بوی معطر و اثر نیرودهنده، تسهیل کننده عمل هضم غذا، مقوی معده، مدر، بادشکن و به طور خفیف اثر قابض، ضد نزله، رفع اسهال و ضد کرم دارد (۲۰).

رشد و عملکرد گیاهان تحت تاثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی متعددی محدود می‌گردد. خشکی شایع‌ترین تنش محیطی است که بطور تقریبی موجب محدودیت تولید در ۲۵ درصد زمین‌های دنیا می‌باشد. در سال‌های اخیر نیز بعلت تغییرات شرایط آب و هوائی، تنش خشکی بسیار شدیدتر شده است (۹). تنش خشکی موجب تغییرات موفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌گردد و عکس‌العمل گیاهان به تنش خشکی به ماهیت کمبود آب وابسته است (۴۹). همچنین شدت خسارت ناشی از تنش خشکی بطول دوره، شدت کمبود آب، مرحله رشد گیاه و نوع گونه گیاهی بستگی دارد (۳۷). تنش خشکی موجب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه از جمله ریشه‌ها، سطح برگ، ارتفاع و همچنین کاهش سطح فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، زیست توده و ماده خشک، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، تجمع اسید آمینه پرولین و کاهش محتوای کلروفیل و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (۴۰). در طی تنش خشکی سازوکارهای متعددی گیاهان را قادر می‌سازد تا با آن سازش پیدا نموده و رشدشان را تحت شرایط تنش خشکی حفظ نمایند (۲۷) که تنظیم اسمزی و افزایش ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله مهمترین سازوکارهای گیاهان در مواجه با خشکی می‌باشند. تنظیم اسمزی بوسیله انباشت محلول‌های سازگاری یک سازوکار فیزیولوژیکی مهم گیاهان برای مقاومت در برابر تنش خشکی است که با هدف تداوم جذب آب از محیط ریشه، حفظ تورژسانس سلولی و پایداری غشاء سلول‌ها انجام می‌شود (۵۳). رادیکال‌های آزاد اکسیژن نیز تحت شرایط تنش خشکی در گیاهان تجمع می‌یابند و از طریق پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب پروتئین‌ها موجب ایجاد تنش ثانویه اکسیداتیو و در نتیجه خسارات جدی به ساختار سلولی می‌گردند (۳۱). در تمام سلول‌های گیاهی برای مقابله با تنش، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی افزایش می‌یابد. آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی شامل کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز می‌باشد و برخی از آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی با وزن مولکولی کم نیز شامل آسکوربات، گلوتاتیون، کاروتنوئیدها، آلفاتوکوفرول، فلاونوئید و آنتوسیانین‌ها هستند که اولین سد دفاعی در برابر تنش را ایجاد می‌نمایند (۱۷). بررسی‌ها نشان داد که شرایط تنش خشکی (ظرفیت زراعی ۲۰ درصد) بطور معنی‌داری شاخص‌های رشد (۴۳٪) و اجزای عملکرد دانه (۴۲/۳٪) گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) را کاهش داد (۸). همچنین افزایش تنش خشکی در گیاه مرزه تابستانه موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع گیاه، قندهای محلول و افزایش محتوای کلروفیل و میزان پرولین گردید (۴۷). همچنین اعمال تنش خشکی در گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) بر بیشتر صفات مورفولوژیک و عملکرد سرشاخه گلدار و برگ اثر منفی داشت، اما موجب افزایش طول ریشه، میزان پرولین و قندهای محلول در اندام‌های هوایی گردید (۲۹). بررسی اثر تنش خشکی در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) نیز نشان‌دهنده کاهش میزان عملکرد زیست توده (وزن تر و خشک اندام هوایی) و صفات مورفولوژیک گیاه (شامل ارتفاع گیاه، طول برگ، تعداد برگ، قطرگل، تعداد گل، زمان ظهور گل، طول دوره گلدهی و زمان ظهور تمام گل) با افزایش شدت تنش بود (۳۴). تنش خشکی در گیاه زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) رشد، نمو و فرآیندهای بیوشیمیایی گیاه مانند تولید متابولیت‌های ثانویه و ترکیبات شیمیایی معطر را تحت تاثیر قرارداد (۲۴). در گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) تنش خشکی متوسط موجب کاهش

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

معنی‌دار محتوای کلروفیل کل و افزایش میزان کارتنوئید، آنزیم کاتالاز و قند محلول در مقایسه با شاهد گردید (۱۴). در گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) نیز اعمال تنش خشکی موجب افزایش میزان پرولین و درصد وزنی اسانس شد (۴۱). بررسی اثر تنش خشکی در گیاه مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm) نیز نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار بعضی از متابولیت‌ها نظیر رزمارینیک اسید، کافئیک اسید، اورسولیک اسید و کارنوزیک اسید و نیز قندهای محلول، پرولین، بازده اسانس و نیز تیمول به عنوان مهمترین و فراوانترین ترکیب موجود در اسانس مرزه سهندی در نمونه‌برداری پس از ۹ و ۱۲ روز پس از قطع آبیاری بود (۴۵).

نیتروپروساید سدیم (SNP) یکی از متداولترین ترکیبات آزاد کننده نیتریک اکسید (NO) و موثر در کاهش اثرات منفی تنش‌ها می‌باشد که نسبتاً ارزان و قابل دسترس است و در pH درون سلولی، NO آزاد می‌نماید (۱۲). نیتریک اکسید یک مولکول گازی کوچک و قابل انتشار است که بصورت درون‌زا در بسیاری از سامانه‌های زیستی مانند جانوران، گیاهان و باکتری‌ها تشکیل می‌شود و دارای نقش‌های فیزیولوژیک متعددی می‌باشد و در پاسخ به تنش زیستی و غیرزیستی مؤثر است (۵۰). نیتریک اکسید بعنوان یک عامل آنتی‌اکسیدان قادر به جاروب نمودن رادیکال‌های اکسیژن فعال بوده و موجب محافظت سلول‌های گیاهان از آسیب‌های اکسیداتیو می‌گردد (۴۲ و ۲۱). اثر محافظت‌کنندگی به توانایی آن در واکنش به بعضی ROSها مانند O_2- مربوط است که NO بعنوان شکننده‌ی زنجیره عمل کرده و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی را بروز می‌دهد (۲۱). اما نیتریک اکسید یک نوع نیتروژن فعال است که می‌تواند روی سلول‌های مختلف، اثر محافظتی یا سمی داشته باشد. این تاثیرات تحت تاثیر غلظت و موقعیت عمل آن دارد، بنابراین باید به غلظت مورد استفاده با توجه به نوع و شدت تنش‌های زیستی و غیرزیستی و نوع گیاه توجه نمود (۳). برای نمونه در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تیمار همزمان خشکی و نیتریک اکساید موجب افزایش پارامترهای رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردید، ولی محتوای پرولین و فعالیت آسکوربات پرکسیداز را کاهش داد (۱۲). کاربرد سدیم نیتروپروساید ۱ میلی‌مولار در شرایط کم آبی در مرکبات نیز نقش تعدیل‌کنندگی بر اثرات منفی تنش خشکی (ظرفیت زراعی ۳۰ و ۶۰ درصد) نشان داد (۱۶). در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) کاربرد غلظت‌های اندک سدیم نیتروپروساید (۲۵ میکرومولار)، مقادیر پرولین، قندهای محلول، آنتوسیانین، فلاونوئیدها و فنل کل را تحت تنش خشکی (ظرفیت زراعی ۳۰ و ۶۰ درصد) افزایش داد، اما غلظت‌های بیشتر (۷۵ و ۱۰۰ میکرومولار) موجب آسیب‌های اکسیداتیو در گیاهچه‌های کلزا شد (۳۶). همچنین کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش خشکی در جو (*Hordeum vulgar* L.) با القاء بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای موجب حفظ محتوای آبی برگ شد (۱۵). در گیاه ماریتغال (*Silybium marianum* (L.) Gaertn.) نیز غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیترو پروساید در محافظت از گیاه با افزایش شدت خشکی (قطع آبیاری از مرحله ساقه روی) و کشت این گیاه در سیستم‌های کمبود آب مؤثر بود (۵۲). در بررسی اثر سدیم نیتروپروساید بر رشد و عملکرد کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) تحت شرایط کم آبی مشخص شد که عملکرد گیاه با تأخیر در آبیاری کاهش می‌یابد، اما کاربرد سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار می‌تواند اثرات منفی خشکی را کاهش دهد (۵۱).

لذا با توجه به اینکه خشکی یکی مهمترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیاست، پژوهش حاضر جهت بررسی اثر سدیم نیتروپروساید برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیمی در گیاه مرزه تابستانه، انجام شد.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

مواد و روشها

کشت گیاهان و اعمال تیمارها: پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۸ و در گلخانه خصوصی در شهرستان پاکدشت بصورت گلدانی انجام شد. بذرهای مرزه از شرکت پاکان بذر اصفهان، خریداری گردید. جهت کاشت بذرها نیز از گلدان اندازه ۱۲ (ارتفاع حدود ۱۰ و قطر دهانه ۱۲ و قطر کف ۹ سانتیمتر، حجم حدود ۱/۱ لیتر) استفاده شد. برای انجام آزمایش، ابتدا در کف هر یک از گلدانها به میزان مساوی سنگریزه (جهت زهکشی) ریخته شد و گلدانها با استفاده از ترازو به صورت هم وزن از بستر کشت مناسب شامل خاک شنی، رس و کود برگ به نسبت (۲:۱:۲)، پر شدند. سپس تعداد ۵ عدد بذر در هر گلدان کشت گردید. پس از کاشت بذرها، گلدانها در گلخانه در شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی حدود ۴۰ درصد قرارگرفتند. پس از جوانهزنی بذرها، بوتهها در طی چند مرحله تا رسیدن به ۴ تا ۶ برگی، تنک گردیدند و در نهایت داخل هر گلدان سه بوته برای انجام آزمایشات، نگهداشته شد. گلدانها تا مرحله ۶ تا ۸ برگی گیاهان با برنامه یکسان آبیاری گردیدند که تغذیه با محلول هوگلند نیز یکبار در هفته همراه با آب آبیاری، صورت گرفت و پس از این مرحله اعمال تیمارها صورت گرفت (۳۳). اعمال تیمارهای تنش بر اساس روش وزنی بود. بمنظور اندازهگیری رطوبت خاک از سیستم توزین گلدانها، استفاده شد. آبیاری نیز بر اساس تغییر وزن خاک گلدانها نسبت به ظرفیت زراعی تعیین شده، صورت گرفت. محلولپاشی گیاهان با سدیم نیتروپروساید (۰، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار) در مرحله ۶ تا ۸ برگی بطوری انجام شد که تمام برگهای گیاه کاملاً خیس شدند و ۲۴ ساعت پس از آن، گیاهان به مدت دو هفته در معرض سطوح مختلف خشکی (۵۰،۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) قرارگرفتند. پس از یک هفته، مرحله دوم محلولپاشی گیاهان با سدیم نیتروپروساید صورت گرفت (۱۶). پس از اتمام اعمال تیمارها، برداشت ریشه و اندام هوایی گیاه و ارزیابی صفات مورد نظر زمانی که۵۰ درصد بوتهها در مرحله گلدهی کامل بودند، انجام شد.

وزن تر اندام هوایی و ریشه بلافاصله پس از برداشت با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ اندازهگیری شد (۱۱).

وزن خشک اندام هوایی و ریشه نیز پس از قرارگیری نمونهها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ اندازهگیری شد (۱۱).

کلروفیل کل برگ به روش Arnon در سال ۱۹۴۹ با استفاده از قطعات ۰/۳ گرمی از برگ و حلال استون ۸۰ درصد استخراج شد. جذب در طول موجهای ۶۴۵ و ۶۶۳ قرائت گردید و محتوای کلروفیل کل با فرمول زیر محاسبه و در نهایت بصورت میلیگرم بر گرم وزن تر برگ بیان شد (۴).

کلروفیل کل = ۲۰/۲(A645 nm)+۸/۰۲(A663 nm)

فنل کل با استفاده از عصاره متانولی برگ و معرف فولین-سیوکالتو با روش Malik و همکاران (۱۹۸۰) اندازهگیری شد و میزان جذب نمونهها با استفاده از دستگاه طیف سنجی نوری در طول موج ۷۶۰ قرائت و در نهایت برحسب میلیگرم بر گرم وزن تر برگ بیان گردید (۳۰).

پرولین طبق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، 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 (۶).

برای سنجش فعالیت آنزیمهای پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز، ابتدا عصاره آنزیم بر اساس روش Ezhilmathi و همکاران (۲۰۰۷) از یک گرم برگ تهیه شد (۱۳). سپس فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Bayer and Fridovich (۱۹۸۷) در طول موج ۵۶۰ نانومتر

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

اندازه‌گیری شد (۷). فعالیت آنزیم کاتالاز با روش Aebi (۱۹۸۴) بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر صورت گرفت (۲). برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز مطابق با روش Putter (۱۹۷۴)، تغییرات جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت شد. در نهایت فعالیت آنزیم‌ها برحسب واحد آنزیم بر گرم وزن تر بیان گردید (۳۸).

جهت استخراج اسانس از ۵۰ گرم اندام خشک هوایی گیاه مرزه که بطور دقیق توزین و سپس توسط آسیاب خرد شده، استفاده شد. میزان اسانس مطابق با روش Mehrafarin و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از دستگاه کلونجر و روش تقطیر با آب استخراج شد و سپس بر حسب درصد بیان گردید (۳۲).

تجزیه و تحلیل آماری: آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با دو عامل اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی با سدیم نیتروپروساید و اثرمتقابل آنها اجرا گردید. آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ انجام گردید. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در شرایط تنش خشکی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه بطور معنی‌داری کاهش یافت. محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید موجب کاهش اثرات منفی خشکی در مرزه گردید. بیشترین وزن تر اندام هوایی در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار و بیشترین وزن تر ریشه و وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار بود. کمترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در تیمار سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار بود (جدول ۱).

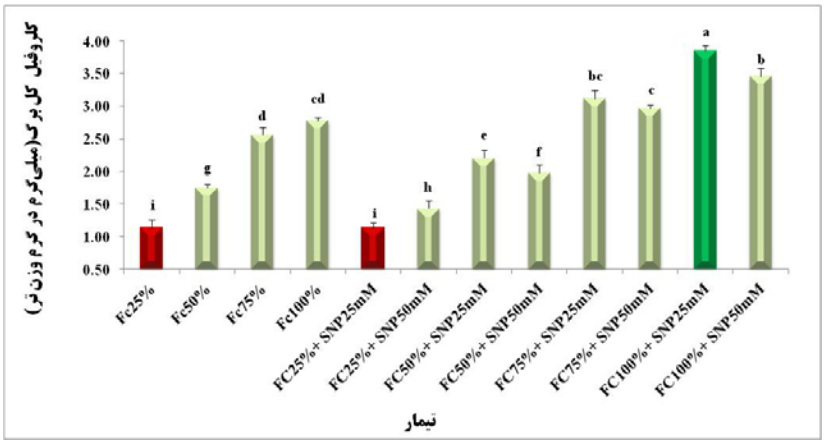
جدول ۱- اثر خشکی و غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه مرزه تابستانه (*Satureja hortensis*)

ظرفیت زراعی (درصد) FC(%)	سدیم نیتروپروساید (میکرومولار) SNP(µm)	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی(گرم)	وزن تر ریشه(گرم)	وزن خشک ریشه(گرم)
	۰	۱/۶۷^{h}	۰/۶۸^{i}	۱/۱۳^{h}	۰/۳۸^{i}
۲۵	۲۵	۱/۷۵^{g}	۰/۷۶^{h}	۱/۲۴^{g}	۰/۴۳^{h}
	۵۰	۱/۸۳^{fg}	۰/۸۲^{fg}	۱/۳۱^{fg}	۰/۴۹^{g}
	۰	۱/۸۶^{f}	۰/۸۱^{g}	۱/۳۷^{f}	۰/۴۹^{g}
۵۰	۲۵	۱/۹۷^{e}	۰/۸۳^{f}	۱/۴۶^{e}	۰/۵۳^{f}
	۵۰	۲/۱۷^{cd}	۰/۸۸^{de}	۱/۴۸^{e}	۰/۵۹^{e}
	۰	۱/۹۹^{e}	۰/۸۶^{e}	۱/۵۳^{de}	۰/۵۶^{ef}
۷۵	۲۵	۲/۱۲^{d}	۰/۹۲^{d}	۱/۷۱^{c}	۰/۶۷^{c}
	۵۰	۲/۲۵^{c}	۰/۹۹^{c}	۱/۶۲^{d}	۰/۶۴^{d}
	۰	۲/۳۱^{b}	۰/۹۸^{c}	۱/۷۳^{b}	۰/۶۶^{bc}
۱۰۰	۲۵	۲/۴۹^{a}	۱/۰۲^{b}	۱/۷۸^{ab}	۱/۶۸^{b}
	۵۰	۲/۳۴^{b}	۱/۰۷^{a}	۱/۸۱^{a}	۱/۷۲^{a}

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

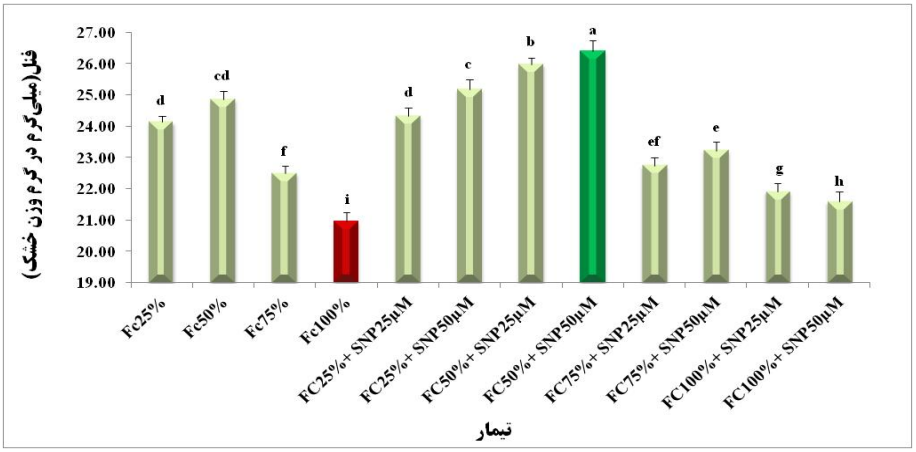
DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

سنجش محتوای کلروفیل کل: بررسی داده‌های پژوهش نشان داد که محتوای کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی بطور معنی‌داری نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش یافت. محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید موجب بهبود محتوای کلروفیل گردید که این اثر در ۲۵ میکرومولار مشهودتر بود. بیشترین محتوای کلروفیل (۳/۸۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار و کمترین محتوای کلرفیل (۱/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در تیمار سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار و تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار بود (شکل ۱).



شکل ۱- اثر خشکی و سدیم نیتروپروساید بر محتوای کلروفیل کل در مرزه تابستانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

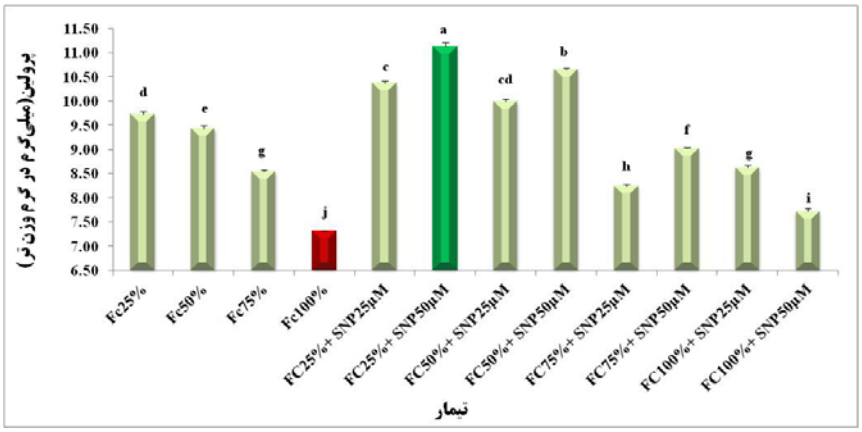
اندازه‌گیری میزان فنل: نتایج نشان داد که در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید موجب بهبود میزان فنل شد. این تاثیر در ظرفیت زراعی ۷۵ و ۱۰۰ درصد بسیار کمتر بود. همانطور که در شکل ۲ نمایان است، بیشترین میزان فنل با ۲۶/۴۰ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار و کمترین میزان فنل با ۲۰/۹۴ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد.



شکل ۲- اثر خشکی و سدیم نیتروپروساید بر میزان فنل در مرزه تابستانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

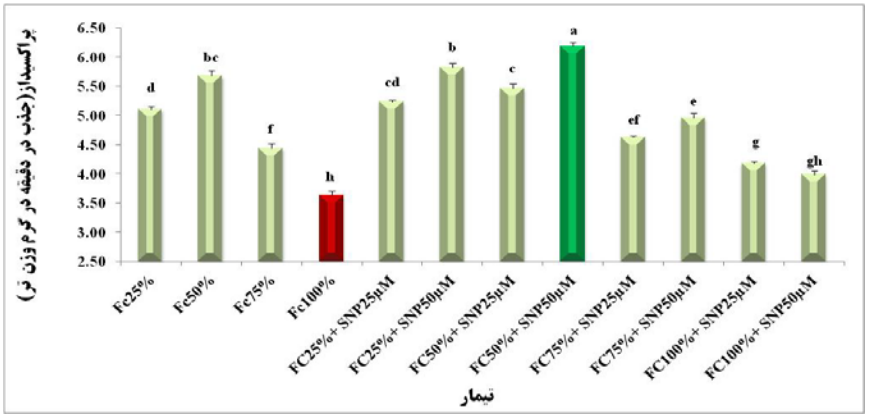
DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

اندازه‌گیری میزان پرولین: نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میزان پرولین در شرایط تنش خشکی نسبت به ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد بطور معنی‌داری افزایش نشان داد. محلول‌پاشی گیاهان تحت تنش خشکی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید موجب بهبود میزان پرولین گردید. میزان پرولین در تمام تیمارهای اثرمتقابل خشکی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بیشتر از تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود. بیشترین و کمترین میزان پرولین با ۱۱/۱۲ و ۷/۳۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر به ترتیب در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار و تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳).



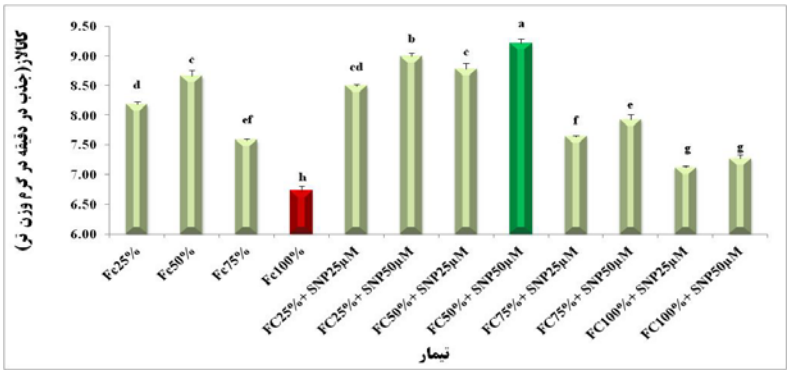
شکل ۳- اثر خشکی و سدیم نیتروپروساید بر میزان پرولین در مرزه تابستانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بطور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید قرارگرفت و و در نتیجه اثرات منفی تنش خشکی کاهش یافت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب با ۶/۱۹، ۹/۲۱ و ۱۵/۲۷ جذب در دقیقه در گرم وزن تر مربوط به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار و کمترین به ترتیب با ۳/۶۲، ۶/۷۲ و ۹/۶۴ واحد آنزیم در گرم وزن تر مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

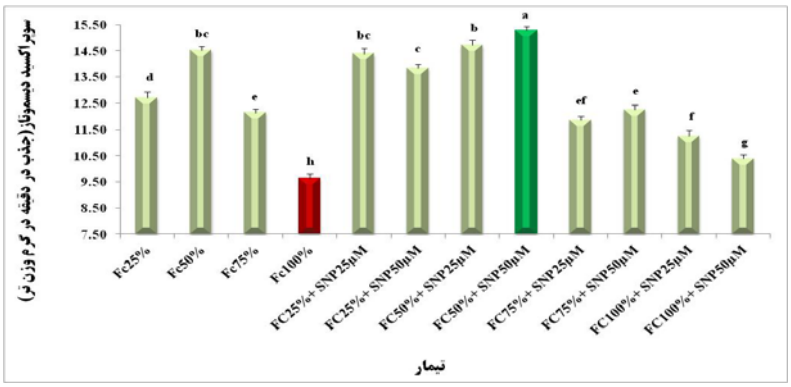


شکل ۴- اثر خشکی و سدیم نیتروپروساید بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در مرزه تابستانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

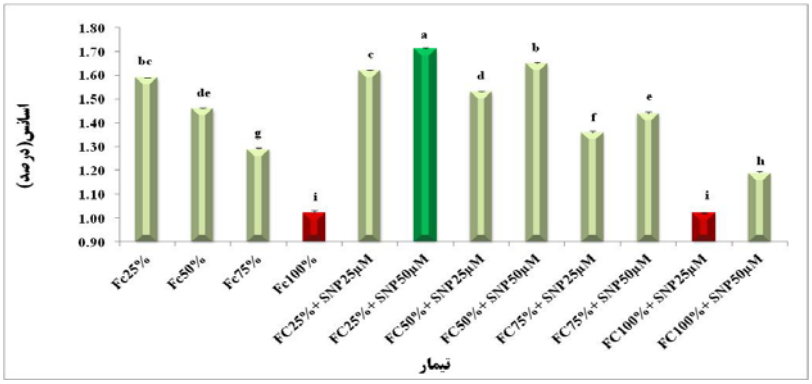


شکل ۵- اثر خشکی و سدیم نیتروپروساید بر فعالیت آنزیم کاتالاز در مرزه تابستانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.



شکل ۶- اثر خشکی و سدیم نیتروپروساید بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در مرزه تابستانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

اندازه‌گیری درصد اسانس: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید موجب افزایش درصد اسانس در شرایط تنش خشکی گردید که این اثر مثبت در تیمار سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار نمایان‌تر است. بیشترین درصد اسانس (۱/۷۱٪) در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار بود و کمترین (۱/۰۲٪) در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار بود (شکل ۷).



شکل ۷- اثر خشکی و سدیم نیتروپروساید بر درصد اسانس مرزه تابستانه. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq0.05$ است.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

بحث و نتیجه‌گیری

تنش کمبود آب یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که از طریق ایجاد تغییرات آناتومیک، مولکولی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه اثر گذاشته و موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان دارویی می‌شود (۳۹). کاربرد سدیم نیتروپروساید بعنوان رهاکننده NO موجب حفاظت از فتوسیستم II می‌گردد. از طرفی NO رهاشده از SNP با تجمع در آندودرم سلول‌های ساقه می‌تواند تنظیم کننده مسیر اکسین باشد یا با اکسین اثرمتقابلی داشته و از این طریق می‌تواند بر رشد گیاه مؤثر باشد. Mortazaeinezhad and Jarzizadeh در سال ۲۰۱۷ اثرات تنش خشکی در کاهش میزان عملکرد زیست توده (وزن تر و خشک اندام هوایی) را در گیاه کاسنی و Chavoushi و همکاران در سال ۲۰۱۹ بهبود پارامترهای رشد در گیاه گلرنگ را در اثر تیمار همزمان خشکی و نیتریک اکساید گزارش نمودند (۳۴ و ۱۲). در پژوهش حاضر نیز تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های رشد گیاه مرزه شد که محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید نقش موثری در کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی ریشه داشت. بررسی داده‌های پژوهش نشان داد که محتوای کلروفیل کل در شرایط تنش خشکی با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید به طور معنی‌داری افزایش یافت. تیمار با سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار نقش موثرتری در بهبود محتوای کلروفیل داشت. در شرایط تنش خشکی رادیکال‌های آزاد اکسیژن موجب تخریب رنگیزه‌های فتوسنتزی، غشاء سلولی و کلروپلاستی و در نتیجه کاهش توانایی فتوسنتز و متعاقب آن ماده خشک گیاه می‌گردد. همچنین در شرایط تنش خشکی بدلیل کاهش هدایت روزنه‌ای و مزوفیلی، میزان دی اکسیدکربن قابل دسترس برای فتوسنتز کاهش می‌یابد. ایجاد و وقفه در فرآیند چرخه تثبیت کربن و محدودیت در مقدار تولید نیز منجر به محدودیت متابولیک و کاهش فتوسنتز می‌شود (۵۳). احتمالاً نیتریک اکسید با اثرات جاذب گونه‌های واکنش کننده اکسیژن تولید شده در تنش موجب بهبود وضعیت کلروفیل سلول‌های گیاهی و افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش مقدار ماده خشک گیاه می‌گردد (۲۳). مطابق با یافته‌های Farsi و همکاران (۲۰۱۹) تنش خشکی متوسط در گیاه دارویی مرزنجوش موجب کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل در مقایسه با شاهد گردید (۱۴). استفاده از سدیم نیترو پروساید در گیاه کلزا موجب افزایش محتوای کلروفیل کل تحت تنش خشکی شد (۳۶). فنل‌ها گروه مهمی از متابولیت‌های ثانویه با نقش محافظتی و دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاهان در شرایط تنش می‌باشند. احتمالاً افزایش مقدار فنل در شرایط تنش خشکی ناشی از فعالیت مسیر هگزوز مونو فسفات و مسیر استات و رهاشدن فنل‌ها توسط آنزیم‌های هیدرولیزکننده است (۴۶). همچنین Asadi Sanam و همکاران در سال ۲۰۱۴ بیان نمودند که ترکیبات فنلی با دادن الکترون به آنزیم‌های نوع پراکسیداز و سم‌زدایی آب اکسیژنه تولید شده می‌توانند در سلول‌های گیاهی به عنوان آنتی‌اکسیدان عمل نمایند که با نتایج حاصل از پژوهش مبنی بر بهبود میزان فنل در گیاه مرزه با محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید در ظرفیت زراعی ۲۵ و ۵۰ درصد مطابقت دارد (۵). تنش خشکی در پژوهش حاضر موجب افزایش معنی‌دار میزان پرولین در گیاه مرزه گردید. در بسیاری از گیاهان پرولین به عنوان یک اسیدآمینه چندمنظوره در پاسخ به تنش غیرزیستی تجمع می‌یابد (۴۸) بررسی داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان پرولین در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار بود. افزایش مقدار پرولین تحت تنش خشکی در گیاهان با تیمارسدیم نیتروپروساید می‌تواند بدلیل افزایش سنتز اسید آمینه پرولین باشد. این اسید آمینه در واقع بعنوان یک شاخص در تعیین میزان حساسیت به تنش خشکی

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

در گیاهان است که بالا رفتن میزان آن در بافت‌های گیاهی به نوعی بیانگر فعال شدن ساز و کار تنظیم اسمزی است و فراهم آمدن شرایط برای جذب بیشتر آب و املاح از محیط می‌باشد (۴۳). همچنین پرولین بعنوان یک اسمولیت، سازگاری مناسبی با آنزیم‌ها و ماکرومولکول‌های سلول دارد و از ساختار پروتئین‌ها و غشاء سلول‌ها محافظت و بعنوان رباینده رادیکال هیدروکسیل نیز عمل می‌کند (۲۵). نتایج تحقیقات Lotfi و همکاران در ۲۰۱۴ نشان داد که اعمال تنش خشکی در گیاه ترخون موجب افزایش میزان پرولین در اندام‌های هوایی گردید (۲۹). همچنین افزایش تنش خشکی در گیاه مرزه تابستانه موجب افزایش میزان پرولین گردید (۴۷). گیاهان بطور طبیعی دارای سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی پیچیده‌ای برای گریز از آثار مضر گونه‌های اکسیژن فعال هستند. در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی میزان تولید گونه‌های اکسیژن فعال افزایش می‌یابد. در این شرایط، گیاهانی که دارای سطوح بالای آنتی‌اکسیدانی دائمی یا القایی هستند، در برابر خسارات اکسیداتیو مقاوم‌ترند، زیرا می‌توانند انواع گونه‌های اکسیژن‌های فعال را به صورت‌های موثر ساختمانی تبدیل نمایند (۲۶). سدیم نیتروپروساید بطور مستقیم به دلیل توانایی NO در جمع کردن انواع گونه‌های اکسیژن‌های فعال و بطور غیرمستقیم با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه بخصوص تحریک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز می‌تواند با کاهش غلظت رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه موجب کاهش اثرات منفی خشکی گردد (۳۵ و۱۰). در پژوهش حاضر تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش خشکی موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و در نتیجه کاهش اثرات منفی تنش گردید که با نتایج تحقیقات Liu و همکاران در سال ۲۰۱۳ که نشان داد کاربرد خارجی NO در شرایط تنش موجب افزایش NOدرونی می‌شود و بعنوان مولکول علامت‌دهنده یا جاروب‌کننده رادیکال‌های آزاد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تحریک می‌کند (۲۸) و یافته‌های Chavoushi و همکاران (۲۰۱۹) که نشان داد تیمار همزمان خشکی و نیتریک اکساید در گیاه گلرنگ موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود، مطابقت دارد (۱۲). درصد اسانس با عرضه آب قابل استفاده رابطه عکس دارد، بدین ترتیب که در همه اندام‌های گیاهی با افزایش مقدار آب در دسترس، درصد اسانس کاهش می‌یابد، زیرا وقتی گیاهان در شرایط تنش قرارگیرند، از طریق تولید متابولیت‌های ثانویه مختلف از خود محافظت می‌کنند (۲۹). کاربرد سدیم نیتروپروساید بدلیل نقش آن در قراردادن نیتروژن در اختیار گیاهان موجب افزایش فتوسنتز، محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم رابیسکو، زیست توده، رشد، توسعه برگ و عملکرد اسانس می‌گردد (۱). در پژوهش حاضر نیز درصد اسانس تحت تأثیر رژیم آبیاری، سدیم نیتروپروساید و اثر متقابل آنها قرارگرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین اسانس با میانگین ۱/۷۱ درصد مربوط به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۵۰ میکرومولار و کمترین آن با میانگین ۱/۰۲ درصد مربوط به تیمارهای ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی+ سدیم نیتروپروساید ۲۵ میکرومولار و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و بود. بررسی‌هایGorgini Shabankareh و Fakheri در سال ۲۰۱۵ نیز نشان داد که وقتی گیاهان در شرایط تنش قرارگیرند، از طریق تولید متابولیت‌های ثانویه مختلف از خود محافظت می‌کنند (۱۸). همچنین تنش خشکی در گیاه زوفا تولید متابولیت‌های ثانویه و ترکیبات شیمیایی معطر را تحت تاثیر قرارداد (۲۴). در گیاه نعناع فلفلی نیز اعمال تنش خشکی موجب افزایش درصد وزنی اسانس شد (۴۱).

بطورکلی نتایج پژوهش نشان داد محلول‌پاشی گیاه مرزه تابستانه با غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بدلیل نقش حفاظتی و تعدیل کنندگی آن موجب کاهش اثرات

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

منفی تنش خشکی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و درصد اسانس گردید و از گیاهان مرزه در برابر تنش خشکی محافظت نمود. در بین غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید، تیمار ۵۰ میکرومولار بیشترین تاثیر را در مهار اثرات تنش خشکی (بخصوص در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) در بیشتر شاخص‌های رشد و درصد اسانس داشت. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از پژوهش می‌توان محلول‌پاشی سدیم نیتروپروساید را جهت کاهش اثرات سوء تنش خشکی در گیاه مرزه توصیه نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از خانم مهندس الهه دانائی جهت مساعدت در کشت و مراقبت از گیاهان تشکر می‌نمایند.

منابع

1- Abedi, T. and Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Czech Journal of Genetics and Plant Breeding, 46: 27-34.

2- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. Meth Enzymol, 105: 121–126.

3- Arasimowicz, M. and Floryszak-Wieczorek, J. (2007). Nitric oxide as a bioactive signaling molecule in plant stress responses. Journal of Plant Science, 172: 876-887.

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

5- Asadi Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H. and Hashempour, A. (2014). The effect of sodium nitroprusside (SNP) on some biochemical properties of barley seedlings in salinity. Journal of Plant Production. Res, 21 (3): 19-32.

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

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

8- Bazzazi, N., Khodambashi, M. and Mohammadi, S. (2013). The Effect of Drought Stress on Morphological Characteristics and Yield Components of Medicinal Plant Fenugreek. Journal of Crop Production and Processing, Isfahan University of Technology, 3 (8):11-23.

9- Biglouie, M.H., Assimi, M.H. and Akbarzadeh, A. (2010). Effect of water stress at different stages on quantity and quality traits of virginia (flue cured) tobacco type. Journal of Plant Soil Environment, 2: 67-75.

10- Cechin, I., Cardoso, GS., Fumis, TdF. and Corniani, N. (2015). Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants. Bragantia Journal, 74(2):200-206.

11- Celikel, F.G. and Reid, M.S. (2002). Postharvest handling of stock (*Matthiola incana*). Journal of Horticulture Science, 37(1): 144-147.

12- Chavoushi, M., Salimi, A., Najafi, F. and Angaji, S.A.H. (2019). Effects of nitric oxide on reducing oxidative stress induced by drought stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 29 (3).

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

14- Farsi, M., Abdollahi, F., Salehi, A. and Ghasemi, Sh. (2019). Physiological response of medicinal plant, marjoram (*Origanum majorana*) to methyl jasmonate in drought stress conditions. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 29.

15- Gan, L., Wu, X. and Zhong, Y. (2015). Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in hulless barley (*Hordeum vulgar* L.). Journal of Plant Production Science, 18(1): 52-56.

16 - Gholivandan, E., Dadpour, M.R., Movafeghi, A., Zaaree Nahandi, F., Zare Haghi, D. and Kousari Nasab, M. (2017). Effects of NO on some physiological characteristics in three species of citrus in water deficit condition. Journal of Research in Pomology, 1 (2). 74-95.

17- Gill, S.S. and Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Journal of

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

Plant Physiology and Biochemistry, 48: 909-930.

18- Gorgini Shabankareh, H. and Fakheri, B. (2015). The effect of different levels of salinity and drought stresses on growth indices and the essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crop Science. 46 (4): 686-673.

19- Hadian, J., Nejad-Ebrahimi, S. and Salehi, P. (2010). Variability of morphological and phytochemical characteristics among *Satureja hortensis* L. accessions of Iran. Industrial Crops and Products, 32: 62-69.

20- Hadian, J., Asgari Lajayer, H. and Motesharezadeh, B and Ghorbanpour, M. (2015). Evaluation of essential oils content and yield of *Satureja hortensis* in response to different copper and zinc treatments. Iranian Journal of Plant Biology, 7 (24). 53-66.

21- Hamidi, H., Masoudian, N. and Saeedisar, S. (2016). Nitric oxide effect on proline, soluble sugars and activity of antioxidant enzymes in Pb stress terms in *Brassica napus* L. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 9 (4). 775-782.

22- Izadi, Z., AghaAlikhani, M. and Mirazi, N. (2020). Identification of chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of summer savory (*Satureja hortensis L.*) essential oil. Razi Journal of Medical Sciences, 27 (2).

23- Jasid, S., Simontacchi, M., Bartoli, C.G. and Pantarulo, S. (2006). Chloroplasts as a nitric oxide cellular source. Effect of reactive nitrogen species on chloroplastic lipids and proteins. Journal of Plant Physiology, 142: 1246-1255.

24- khosheghbal ghorabaee, F., Ghasemi Pirbalouti, A., Enteshari, S. and Davarpanah, S J. (2020). Qualitative and quantitative effects of drought stress on essential oil compositions of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 33 (2).

25- Lei, Y., Yin, C. and Li, C. (2007a). Adaptive responses of *Populus przewalskii* to drought stress and SNP application. Journal of Acta Physiology Plant, 29: 519-526.

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

27- Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L. and Yang, R. (2011). Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. Journal of Environmental and Experimental Botany, 71:174–183.

28- Liu, S., Dong, Y., Xu, L., Kong, J. and Bai, X. (2013). Roles of exogenous nitric oxide in regulating ionic equilibrium and moderating oxidative stress in cotton seedlings during salt stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13: 929-941.

29- Lotfi, M., Abbaszadeh, B. and Mirza, M. (2014). The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30 (1).

30- Malik, C.P. and Singh, M.B. (1980). In: plant Enzymology and Histoenzymology, Kalyani Publisher, New Delhi, p. 286.

31- Mazarie, A., Mousavi-nik, S.M., Ghanbari, A. and Fahmideh, L. (2019). Effects of spraying jasmonic acid on some morpho-physiological traits, antioxidant enzymes activity and essential oil yield of *Salvia officinalis* L. under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 35 (1).

32- Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Mirzai Motlagh, M., Salehi M. and Ghiasi Yekta, M. (2017). Phytochemical and morphophysiological responses of Dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of potassium sulfate and methanol biostimulant. Journal of Medicinal Plants, 16 (64): 93-109.

33- Mohammadi, S.M., Rameeh, V., Gerami, M., AsadiSanam, S. and Khoshrooz, M. (2018). Effect of sodium nitroprusside (SNP) on some of biochemical characteristics of purple coneflower [*Echinacea purpurea* (L.) Moench] under salinity stress. Journal of Plant Process and Function, 7 (23): 123-139.

34- Mortazaeinezhad, F. and Jarzizadeh, E. (2017). Effects of water stress on morphological and physiological Indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. Journal of Crop Production and Processing, Isfahan University of Technology, 6 (21): 279-290.

35- Nasibi, N. (2011). The effect of different concentrations of sodium nitroprusside (SNP) at a discount oxidative damage induced by drought stress in tomato plants. Journal of Plant Biology, 2 (9): 74-63.

36- Nikravesh, M., Kholdebarin, B., Nejadsattari, T. and Najafi, F. (2016). Effect of sodium

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

nitroprusside (SNP) on some physiological parameters in oilseed rape (*Brassica napus* L.) seedlings under drought stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 29 (3). 644-658.

37- Oliviera-Neto, C.F., Silva-Lobato, A.K., GoncalvesVidigal, M.C., Costa, R.C.L., Santosfilho, B.G., Alves, G.A.R., Silva-Maia, W.J.M., Cruz, F.J.R., Neres, H.K.B. and Santos Lopes, M.J. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7 (3-4): 588-593.

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

39- Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R.A., Ganjeali, A., Bagheri, A. and Najafi, F. (2011). Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Journal of Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 53: 47-56.

40- Sadeghipour, O. and Aghaei, P. (2012). Impact of exogenous salicylic acid application on some traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water stress conditions. International Journal of Agriculture and Crop Science. 4: 685-690.

41- Saedi, F., Sirousmehr, A. and Javadi, T. (2020). Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 33 (1). 35-45.

42- Saeedifar, R. and Chaparzadeh, N. (2016). Interactive effects of salinity and Nitric oxide on water relations of *Zygophyllum fabago* L.. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 29 (3). 675-685.

43- Sanjari Mijani, M., Sirousmehr, A. and Fakheri, B. (2015). Effect of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of (*Hibiscus sabdarifa*). Journal of Agriculture Cultivat, 17 (2): 414-403.

44- Sefidkon, F., Jamzad, Z. and Barazandeh, M. (2005). Essential oil of Satureja bachtiarica Bunge, A potential source ofcarvacrol. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 20 (4): 425 - 439.

45- Shariat, A., Karimzadeh, GH., Assareh, M.H. and Hadian, J. 2018. A promising application of drought stress for increasing product quality of Iranian endemic *Satureja sahendica* Bornm. medicinal plant. Iranian Journal of Field Crop Science. 49 (1): 167-177.

46- Shehab, G.G., Ahmed, O.K. and El-Beltagi. J.S. (2010). Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). Notulae Bota Hort. Agrobotanici Cluj Napoca. 38: 139-148.

47- Sodaii Zadeh, H., Shamsaie, M., Tajamoliyan, M., Mirmohammady Maibody, A.M. and 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 Iranin Society of Plant Physiology, 5 (15).

48- Szabados, L. and Savoure, A. (2009). Proline: a multifunctional amino acid. Trends Plant Sci, 15: 89-97.

49- Toupchi Khosrowshahi, Z., Salehi Lisar, S.Y., Ghassemi-Golezani, K. and Motafakkerazad, R. (2020). Effects of exogenous polyamines on some growth and physiological parameters of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 33 (1). 127-138.

50- Xiong, J., Fu, G., Tao, L. and Zhu, C. (2010). Roles of nitric oxide in alleviating heavy metal toxicity in plants. Arch. Biochem. Biophys, 497: 13–20.

51- Yadollahi, P. and Asgharpour, M.R. (2014). The effect of sodium nitroprusside and ascorbic acid on the growth, morphological characteristics and performance parchment pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under irrigated conditions. Journal of Crop Production Research (Environmental Stresses in Plants Sciences), 6 (2): 119-130.

52- Zangani, E., Zehtab Salmasi, S., Andalibi, B. and Zamani, A. (2017). Enhancement of drought stress tolerance in two genotypes of milk (thistle *Silybium marianum* (L.) Gaertn.) by exogenous application of sodium nitroprusside. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33 (4). 636-647.

53- Zare Mehrjerdi, M., Bagheri, R., Bahrami, A., Nabati, J. and Maasoumi, A. (2012). Effect of drought stress on photosynthetic characteristics, phenolic compounds and active radical scavenging capacity of different genotypes of chickpea (*Cicer arientinum* L.) in hydroponic culture. Journal of Science Technology. Greenhouse Cultures, 3 (12): 93-104.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.6.2

The effects of drought stress and sodium nitroprusside on growth indices and enzymatic activity of *Satureja hortensis*

Danaee E.[1*] and Abdossi V.[2]

[1] Dept. of Horticulture, Islamic Azad University, Garmsar Branch, Garmsar, I.R. of Iran

[2] Dept. of Horticulture and Agronomy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, I.R. of Iran

Abstract

Drought is one of the major abiotic stresses limiting plant growth and crop production. Sodium nitroprusside also plays an important role as nitric oxide releasing compound in responding to biological and abiotic stresses and controlling plant growth. The aim of study was to investigate the effect of sodium nitroprusside on reducing effects of drought stress on *Satureja hortensis*, which is an abundant plant used in the food and pharmaceutical industries. For this purpose, the effect of sodium nitroprusside (0, 25 and 50 µM) and different drought levels (25, 50, 75 and 100% of FC) at 2019 in greenhouse condition on growth parameters and enzymatic activity were investigated as a factorial experiment based on a completely randomized statistical design. Plants were sprayed with sodium nitroprusside in 6 to 8 leaf stage, after 24 hours, drought treatment was applied. The second stage of treatments was done one week after first stage and after two weeks, growth indices and enzymatic activity were measured. The results showed that increasing drought stress significantly decreased the fresh and dry weight of shoots and roots and chlorophyll and increased the activity of antioxidant enzymes, phenol, proline and essential oil. Simultaneous treatment of drought and sodium nitroprusside significantly increased growth parameters and activity of antioxidant enzymes by reducing drought-induced oxidative stress. The highest percentage of essential oil (1.71%) was obtained in foliar application with 50 µM sodium nitroprusside and 25% in field capacity. Finally, foliar application of sodium nitroprusside reduced the negative effects of drought stress on savory.

Key words: Antioxidant enzyme, Drought stress, *Satureja hortensis* L., Sodium nitroprusside.